

Braunschweigische
Wissenschaftliche Gesellschaft

Jahrbuch 2002



J. CRAMER Verlag · Braunschweig
2003

Das vorliegende Jahrbuch ist bei der Braunschweigischen Wissenschaftlichen
Gesellschaft und beim Buchhandel erhältlich
Preis: € 16,00

Gedruckt mit Hilfe von Forschungsmitteln
des Landes Niedersachsen

Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft
Fallersleber-Tor-Wall 16 · D-38100 Braunschweig
Postfach 3329 · D-38023 Braunschweig
Telefon: (05 31) 1 44 66 · Fax (05 31) 1 44 60

<http://www.bwg-niedersachsen.de>

Für die Redaktion verantwortlich:
Der Generalsekretär der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

ISSN 0931-1734
ISBN 3-934656-11-0

Gesamtherstellung:
J. Cramer Verlag · Am Hasengarten 23 A · D-38126 Braunschweig
2003
Printed in Germany

INHALTSVERZEICHNIS

ALLGEMEINES UND HISTORISCHES

Zur Geschichte der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft (BWG)	7
Die Organe der BWG 1943 - 2002	8
Die Satzung der BWG	10

HINWEISE AUF VERANSTALTUNGEN DER BWG

Vom Taler zur Mark: Münz- und Geldgeschichte der Neuzeit	15
5. Colloquium der Kommission „Recht und Technik“ – Abfallentsorgung als technisches, wirtschaftliches und rechtliches Problem –	17
Interdisziplinäres Symposium „Liebfrauenberg und Georgenberg? Zur Frage der Pfalzgründung in Goslar“	19
Weitere Veranstaltungen	21

PLENARVERSAMMLUNGEN

10.01.2002	in Braunschweig	
	<i>Werner Köhler</i> : Die Akademie gemeinnütziger Wissenschaften zu Erfurt – eine alte, junge Akademie	23
	<i>Joachim Klein</i> : Chemie ist Leben – (über)lebt die Chemie?	29
08.02.2002	in Braunschweig	
	<i>Hartmut Rötting</i> : Neue archäologische Forschungsergebnisse zur Herrschaftstopographie des früheren Mittelalters im nördlichen Harzvorland (Ausführliche Fassung in den Abhandlungen 52 [2002])	
08.03.2002	in Braunschweig	
	<i>Eva Johanna Engel Holland</i> : Moses Mendelssohn – Polyhistor und Wegbereiter	41
19.04.2002	in Braunschweig	
	<i>Alfred Mühlbauer</i> : Prozessmodellierung bei der Herstellung von Silizium-Einkristallen (Ausführliche Fassung in den Abhandlungen 52 [2002])	
31.05.2002	in Hannover	
	<i>Herbert Welling</i> : Der Gravitationswellendetektor GEO 600 An der Schwelle zur Gravitationswellen-Astronomie	45

13.07.2002	in Clausthal-Zellerfeld <i>Harald Zenner</i> : Festigkeitsnachweis für Fahrzeuge am Beispiel eines Pkws	
11.10.2002	in Braunschweig <i>Christel C. Müller-Goymann</i> : Kolloidale Arzneimittel – auf die „Verpackung“ kommt es an	49
08.11.2002	in Braunschweig <i>Hartmut Thieme</i> : Altpaläolithische Holzgeräte aus Niedersachsen: Konsequenzen der Schöninger Entdeckungen für Kulturanthropologie und Wissenschaftspolitik	53

KLASSENSITZUNGEN

Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften

08.02.2002	in Braunschweig <i>Armin de Meijere</i> : Kleine Ringe, große Wunder – Warum sich Chemiker mit Cyclopropanderivaten beschäftigen	59
08.03.2002	in Braunschweig <i>Hans-Joachim Kowalsky</i> : Tangenten-n-Seite an Eilinen (Ausführliche Fassung in den Abhandlungen Band 50 [2000])	
19.04.2002	in Braunschweig <i>Helmut Braß</i> : Was ist Quadraturtheorie?	61
31.05.2002	in Hannover <i>Thomas Hartmann</i> : Evolution durch Funktionswechsel: Ein Beispiel aus der molekularen Biologie	65
11.10.2002	in Braunschweig <i>Fred Jochen Litterst</i> : Paritätsverletzung und neue Materialien: Anwendungen der Myonen-Spin-Rotation μ SR	69
08.11.2002	in Braunschweig <i>Reinhard F. Werner</i> : Die Wirklichkeit der Quanten (vgl. den für Juni 2003 vorgesehenen Plenarvortrag)	
13.12.2002	in Braunschweig Regularien	

Klasse für Ingenieurwissenschaften

08.02.2002	in Braunschweig <i>Matthias Bohnet</i> : Belagbildung auf Wärmetauscherflächen: Kann man sie verhindern?	73
------------	---	----

Inhaltsverzeichnis

5

08.03.2002	in Braunschweig <i>Werner Leonhard</i> : Netzeinspeisung aus regenerativen Quellen, ein Weg zur nachhaltigen elektrischen Energieversorgung?	87
31.05.2002	in Hannover <i>Günter Peter Merker</i> : Hat der Verbrennungsmotor eine Zukunft?	89
11.10.2002	in Braunschweig <i>Rolf Ernst</i> : MpSoC, IP und Plattformen oder wie nutzt man 1 Milliarde Transistoren?	93
08.11.2002	in Braunschweig <i>Christian Heipke</i> : Können Computer sehen? Automatische Bildanalyse in Photogrammetrie und Fernerkundung	97
13.12.2002	in Braunschweig Regularien	

Klasse für Geisteswissenschaften

08.02.2002	in Braunschweig <i>Eva Johanna Engel Holland</i> : Moses Mendelssohn: Die Doppelexistenz des Philosophen	99
19.04.2002	in Braunschweig <i>Joachim Hentze</i> : Unternehmerisch-initiierte Führung (Corporate Entrepreneurship) als Instrument der Unternehmensführung	109
08.11.2002	in Braunschweig <i>Hans-Joachim Behr</i> : Mîn kranker sin, mîn unvernunst / gestaten mir ze reden nicht	111

FEIERLICHE JAHRESVERSAMMLUNG am 21. Juni 2002**Öffentliche wissenschaftliche Vorträge**

<i>Martin Jansen</i> , Stuttgart Chemie an, mit und in Fullerenen	115
<i>Andreas Hirsch</i> , Erlangen Chemische Funktionalisierung von Fullerenen und Kohlenstoffnanoröhren	121
<i>Reinhart Ahlrichs</i> , Karlsruhe Berechnung von Cluster-Eigenschaften	
<i>Siegmar Roth</i> , Stuttgart Carbon Nanotubes – Quantum Wires to Artificial Muscles	125

Festversammlung im AltstadtrathausDer Präsident der BWG, *Joachim Klein*:

Ansprache und Bericht 131

Joachim Heidberg, HannoverLaudatio zur Verleihung der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille 2002 an *Wolfgang Krätschmer*..... 143*Wolfgang Krätschmer*

Kohlenstoff – ein besonderer Stoff. 157

Urkunde und Lebenslauf des Preisträgers 175

Der Generalsekretär der BWG, *Claus-Artur Scheier*

Schlussworte 177

MITTEILUNGEN

Veröffentlichungen 178

Geschäftliche Mitteilungen 178

PERSONALIA

Todesfälle 179

Nachrufe 180

Zuwahlen 185

Inhaber der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille 1949 – 2002 190

Mitgliederverzeichnis 194

ALLGEMEINES UND HISTORISCHES

Zur Geschichte der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

Im Jahre 1943 führten die Initiativen einiger Professoren der Braunschweiger Technischen Hochschule Carolo Wilhelmina zur Errichtung der „Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft“. Sie wurde nach Genehmigung der vorgelegten Satzung durch den damals zuständigen Reichsminister für Wissenschaft, Erziehung und Volksbildung am 9. Dezember 1943 in einer feierlichen Sitzung konstituiert. Das zu diesem Anlaß von dem ersten Vorsitzenden des Senats der neuen Gesellschaft, Prof. Dr.-Ing. Ernst Schmidt, erstattete Referat gibt Auskunft über die Motive dieser Gründung. Maßgebend war der Wunsch nach Überwindung eines allzu engen wissenschaftlichen Spezialistentums und einer einseitigen Orientierung der Forschung auf rasche Verwertbarkeit ihrer Ergebnisse. Dies wird in der ersten Satzung der Gesellschaft deutlich. In deren § 1 bestimmt sie: „insbesondere soll sie über die fachlichen Grenzen hinaus die Bearbeitung von Gemeinschaftsaufgaben übernehmen und dazu beitragen, innere Beziehungen zwischen allen Wissens- und Lebensgebieten herzustellen“. Organisatorisch war die Neugründung als selbstständige wissenschaftliche Gesellschaft mit eigenen Organen (Kuratorium, Senat, Fachbereiche) angelegt. Der jeweilige Rektor der Technischen Hochschule Braunschweig war jedoch ex officio zum Präsidenten der Gesellschaft bestimmt, was hauptsächlich auf eine administrative Vereinfachung abzielte.

Bis Ende 1944 wurde die Gesellschaft durch Berufung von Mitgliedern aus verschiedenen Fachgebieten personell ausgebaut. Besondere Aktivitäten konnte sie in den letzten Monaten des zweiten Weltkrieges nicht mehr entfalten. Sie bestand auch nach dem Kriege unter einem kommissarischen Präsidenten unverändert fort. Jedoch wurden Maßnahmen eingeleitet, um die Gesellschaft uneingeschränkt zu verselbständigen, wobei die Organisationsform einer Akademie der Wissenschaften angestrebt wurde. Sie war im Kern durch Selbstergänzung und begrenzte Platzzahl der Mitglieder sowie durch Gliederung in Fachbereiche bereits vorhanden.

Vor allem wurde die Gesellschaft nun auch mit ihrem Plenum und ihren Abteilungen – seit 1950 Klassen – wissenschaftlich aktiv. In beiden Bereichen wurden wissenschaftliche Vorträge und Diskussionen durchgeführt. Initiiert von Prof. Dr. phil. Eduard Justi erschien 1949 der erste Band der als Publikationsorgan eingerichteten „Abhandlungen“. Im gleichen Jahre verlieh die Gesellschaft erstmalig die kurz zuvor gestiftete Carl-Friedrich-Gauß-Medaille. 1953 erhielt die Gesellschaft schließlich den Status einer Körperschaft des öffentlichen Rechts. Mit dem Errichtungserlaß des Niedersächsischen Landesministeriums wurde ihr zugleich eine neue Satzung gegeben, in der freilich Teile der ehemaligen Satzung erhalten geblieben waren. 1971 erhielt die Gesellschaft eine in einigen Bereichen veränderte und schließlich 1993 ihre heute gültige Satzung, die sie im Geiste einer Akademie der Wissenschaften mit deutlich technischem Schwerpunkt auszufüllen bestrebt ist. In diesem Rahmen finden laufend wissenschaftliche Plenar- und Klassensitzungen statt. Zur Durchführung langfristiger Forschungsvorhaben hat die BWG eine

Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte, eine Kommission für Umwelt und Technik und eine Kommission für Recht und Technik eingesetzt. Von den jährlich erscheinenden „Abhandlungen“ sind bisher 51 Bände und in der Schriftenreihe der Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte 7 Bände publiziert worden. Initiiert von Prof. Dr. techn. Karl Heinrich Olsen, veröffentlicht die BWG seit 1983 Jahrbücher, die insbesondere über Vortragsveranstaltungen, Kommissionstätigkeiten und Personalien berichten.

Die Organe der BWG 1943 – 2001

Konstituierende Sitzung:	30.11.1943	
Eröffnungssitzung:	09.12.1943	[siehe Abhandlungen der BWG 21 (1969), 8]
Erste Sitzung:	1944	[siehe Abhandlungen der BWG 1 (1949), 169]
Zweite Sitzung:	1953	[siehe Abhandlungen der BWG 5 (1953), 212]
Dritte Sitzung:	1971	[siehe Abhandlungen der BWG 22 (1970), 291]
Vierte Sitzung:	1993	[hier abgedruckt S. 10 ff.]

PRÄSIDENTEN

1943-45: Fritz Gerstenberg; 1946-48: Gustav Gassner; 1949-50: Hans Herloff Inhoffen; 1951-53: Eduard Justi; 1954-56: Leo Pungs; 1957-59: Max Kohler; 1960-62: Hans Kroepelin; 1963-66: Paul Koeßler; 1967-70: Hermann Blenk; 1971-77: Karl Gerke; 1978-80: Herbert Wilhelm; 1981-86: Karl Heinrich Olsen; 1987-92: Gerhard Oberbeck; 1993-95: Werner Leonhard; 1996-1999: Norbert Kamp; seit 2000: Joachim Klein

GENERALSEKRETÄRE

1943-45: Ernst August Roloff; 1946-48: Wilhelm Gehlhoff; 1949-50: Eduard Justi; 1951-53: Hermann Schlichting; 1954-1959: Hans Herloff Inhoffen; 1960-61: Hellmut Bodemüller; 1962-64: Hans Joachim Bogen; 1965-69: Hermann Schaefer; 1970-71: Karl Gerke; 1972-73: Arnold Beuermann; 1974-80: Karl Heinrich Olsen; 1981-82: Ulrich Wannagat; 1983-85: Hans Joachim Kanold; 1986-88: Egon Richter; 1989-91: Harmen Thies; 1992-94: Ulrich Wannagat; 1995-97: Helmut Braß; 1998-2000: Elmar Steck; seit 2001: Claus-Artur Scheier

VORSITZENDE DER KLASSEN

BIS 1954 SEKRETÄRE DER ABTEILUNGEN

Mathematik und Naturwissenschaften

1943-47: G. Cario; 1948-50: P. Dorn; 1951-53: H.H. Inhoffen; 1954-57: P. Dorn; 1958-60: H. Kroepelin; 1961: H. Poser; 1962-64: H. Hartmann; 1965-66: H. Schumann; 1967-72: M. Grützmacher; 1973-76: U. Wannagat; 1977-80: H.R. Müller; 1981-84: E. Richter; 1985-89: O. Rosenbach; 1990-91: St. Schottlaender; 1992-94: H.J. Kowalsky; 1995-97: H. Tietz; 1998-1999: K. Schügerl; 2000: G. Müller; seit 2001: J. Heidberg

Ingenieurwissenschaften

1943-48: E. Marx; 1949-53: L. Pungs ; 1954-56 : O. Flachsbart; 1957-60: W. Hofmann; 1961-64: H. Hausen; 1965-70: G. Wassermann; 1971-77: H.W. Hennicke; 1978-79: Th. Rummel; 1980-83: M. Mitschke; 1984-93: R. Jeschar; 1994-96: H.-G. Unger; 1997-2000: E. Stein; seit 2001: M. Lindmayer

Bauwissenschaften

1943-48: Julius Petersen; 1949-53: Th. Kristen; 1954-62: F. Zimmermann; 1963-67: A. Pflüger; 1968-69: J. Göderitz; 1970-73: W. Wortmann; 1974: K.H. Olsen; 1975-78: H. Duddeck; 1979-83: W. Höpcke; 1984-93: J. Herrenberger; (seit 1994: vereinigt mit der Klasse für Ingenieurwissenschaften)

Geisteswissenschaften

1943-48: W. Jesse; 1949-53: W. Gehlhoff; 1954-57 (Obmann): W. Jesse; 1958-61 (Obmann): H. Glockner; 1962-68 (Obmann): H. Heffter; 1969-78: A. Beuermann; 1979-87: M. Gosebruch; 1988-89: H. Boeder; 1990-91: G. Maurach; 1992-1998: C.-A. Scheier; 1999: G. Maurach; 2000: C.-A. Scheier; seit 2001: H.-J. Behr

Satzung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

(In Kraft seit 6.4.1993)

§ 1

Die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft hat durch eigene Tätigkeit und im Zusammenwirken mit anderen Gesellschaften der Wissenschaft zu dienen.

§ 2

Die Gesellschaft ist eine Körperschaft des öffentlichen Rechts. Ihr Sitz ist Braunschweig. Sie führt ein Dienstsiegel.

§ 3

Die Gesellschaft hat drei Klassen:

die Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften,
die Klasse für Ingenieurwissenschaften,
die Klasse für Geisteswissenschaften.

§ 4

(1) Die Gesellschaft besteht aus ordentlichen und korrespondierenden Mitgliedern.

(2) Ordentliche Mitglieder können verdienstvolle Gelehrte werden, die ihren Wohnsitz in Niedersachsen haben. Sie sind zur regelmäßigen Teilnahme an den Sitzungen des Plenums und ihrer Klassen sowie zur Förderung der wissenschaftlichen Arbeiten verpflichtet und gehalten, zu den Publikationen der Gesellschaft beizutragen. Ordentliche Mitglieder, die das 70. Lebensjahr vollendet haben, werden von den Pflichten entbunden, behalten jedoch ihre Rechte bei. Die Höchstzahl der ordentlichen Mitglieder, welche das 70. Lebensjahr noch nicht vollendet haben, beträgt:

30 für die Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften,
40 für die Klasse für Ingenieurwissenschaften,
30 für die Klasse für Geisteswissenschaften.

(3) Zu korrespondierenden Mitgliedern können, ohne Rücksicht auf ihren Wohnsitz, verdienstvolle Gelehrte berufen werden, denen eine regelmäßige persönliche Teilnahme an den Sitzungen und Arbeiten der Gesellschaft nicht möglich ist. Sie können an allen Sitzungen teilnehmen, haben aber kein Stimmrecht. Die Zahl der korrespondierenden Mitglieder ist nicht beschränkt.

(4) Ordentliche Mitglieder, die ihren Verpflichtungen nicht nachzukommen vermögen, können die Überführung in den Status eines korrespondierenden Mitglieds beantragen. Von ordentlichen Mitgliedern, die ohne gerechtfertigten Grund vier aufeinanderfolgenden Sitzungen des Plenums oder ihrer Klasse ferngeblieben sind, muß angenommen werden, daß sie ihren Verpflichtungen nicht mehr nachzukommen vermögen. Auf Vorschlag ihrer

Klasse kann durch den Verwaltungsausschuß die Mitgliedschaft in die eines korrespondierenden Mitglieds umgewandelt werden.

§ 5

(1) Die Mitglieder werden auf Vorschlag von mindestens drei ordentlichen Mitgliedern und nach Antrag der zuständigen Klasse durch das Plenum in geheimer Abstimmung gewählt.

(2) Auf die Mitgliedschaft kann durch schriftliche Erklärung gegenüber dem Präsidenten verzichtet werden.

(3) Ein Mitglied kann wegen ehrenrührigen Verhaltens ausgeschlossen werden. Für das Verfahren gelten die Vorschriften über die Wahl.

§ 6

(1) Im Plenum und in den Klassen berichten die Mitglieder über eigene Arbeiten und die ihrer Mitarbeiter, die ordentlichen Mitglieder auch über Arbeiten anderer. Der Vorsitzende kann zum wissenschaftlichen Teil der ordentlichen Sitzungen Gäste, die von einem ordentlichen Mitglied eingeführt sind, einladen.

(2) Das Plenum hält in jedem Jahr mindestens eine Hauptsitzung ab. Es hört und erörtert Rechenschaftsberichte. Zu den Hauptsitzungen sind auch die korrespondierenden Mitglieder einzuladen.

§ 7

Die Gesellschaft gibt die „Abhandlungen der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft“ sowie ein „Jahrbuch“ heraus. Einzelheiten regelt die Druckschriftenordnung.

§ 8

Die Gesellschaft kann darüber hinaus eigene Forschungsarbeiten durchführen, Forschungsarbeiten ihrer Mitglieder oder Dritter unterstützen, wissenschaftliche Stellungnahmen abgeben und wissenschaftliche Tagungen, Symposien sowie Vorträge veranstalten. Um der Öffentlichkeit Einblick in wissenschaftliche Probleme zu geben und sie mit den Ergebnissen wissenschaftlicher Arbeit bekanntzumachen, veranstaltet die Gesellschaft auch öffentliche Vorträge. Ferner kann die Gesellschaft wissenschaftliche Schriften und Berichte herausgeben oder ihre Herausgabe unterstützen.

§ 9

Die Gesellschaft verleiht, in der Regel jährlich zum Geburtstag von Carl Friedrich Gauß am 30. April, die „Carl-Friedrich-Gauß-Medaille“. Das Verfahren regeln die besonderen Bestimmungen für die Verleihung der Gauß-Medaille.

§ 10

(1) Die Leitung der Gesellschaft obliegt dem Präsidenten. Er beruft die Sitzungen des Plenums ein, stellt die Tagesordnung fest, leitet die Verhandlungen, hat bei allen mündlichen Abstimmungen für den Fall der Stimmengleichheit die entscheidende Stimme, führt

den Vorsitz in allen Ausschüssen – soweit nicht andere Regelungen getroffen sind –, unterzeichnet die Sitzungsprotokolle und sorgt für die Ausführung der Beschlüsse. Er vertritt die Gesellschaft nach außen und hat die Aufsicht über die Geschäftsführung im Benehmen mit den Klassenvorsitzenden.

(2) Der Präsident wird aus dem Kreis der ordentlichen Mitglieder durch das Plenum in geheimer Abstimmung für die Amtsdauer von drei Jahren gewählt. Wiederwahl ist zulässig. Ersatzwahlen erfolgen für den Rest der Amtsdauer.

(3) Die Stellvertretung des Präsidenten übernimmt als Vizepräsident der turnusmäßig älteste Klassenvorsitzende.

§ 11

(1) Die Leitung der Klassen obliegt den Klassenvorsitzenden; § 10 Abs. 1 Satz 2 gilt entsprechend.

(2) Die ordentlichen Mitglieder jeder Klasse wählen aus ihrem Kreis in geheimer Abstimmung den Klassenvorsitzenden so, daß jedes Jahr einer der Klassenvorsitzenden ausscheidet. Wiederwahl ist zulässig. Ersatzwahlen erfolgen für den Rest der Amtsdauer.

(3) Die Klassenvorsitzenden betrauen mit ihrer Vertretung von Fall zu Fall ein ordentliches Mitglied der Klasse.

§ 12

(1) Dem Generalsekretär obliegen die Geschäftsführung, die Veranstaltung öffentlicher Vorträge und die Herausgabe von Veröffentlichungen der Gesellschaft.

(2) Der Generalsekretär muß seinen Wohnsitz in Braunschweig oder im näheren Umkreis von Braunschweig haben. Er wird aus dem Kreis der ordentlichen Mitglieder durch das Plenum in geheimer Abstimmung für die Amtsdauer von drei Jahren gewählt. Wiederwahl ist zulässig. Ersatzwahlen erfolgen für den Rest der Amtsdauer. In dem Jahr, in dem der Präsident neu gewählt wird, soll ein Wechsel im Amt des Generalsekretärs nicht stattfinden.

§ 13

Der Präsident, die Klassenvorsitzenden und der Generalsekretär bilden den Verwaltungsausschuß. Dieser hat die Aufgabe, über Arbeitsvorhaben und Arbeitsweise der Gesellschaft zu beschließen, den Haushaltsplan aufzustellen und über Inventar und Vermögen der Gesellschaft im Rahmen der Beschlußfassung des Plenums zu verfügen. Der Präsident kann zur Beratung des Verwaltungsausschusses Mitglieder der Gesellschaft und andere Persönlichkeiten, deren Teilnahme im Interesse der Gesellschaft liegt, hinzuziehen.

§ 14

(1) Der Haushaltsplan ist vor Beginn des Haushaltsjahres (Kalenderjahr) aufzustellen und vom Plenum zu beschließen.

(2) Überschüsse früherer Jahre verbleiben der Gesellschaft; sie sind im Haushaltsplan auszuweisen.

(3) Die Gesellschaft hat nach Ende eines jeden Haushaltsjahres eine Rechnung aufzustellen. Die Rechnung ist, unbeschadet einer Prüfung durch den LRH nach § 111 LHO, durch die bei der Bezirksregierung Braunschweig eingerichtete Vorprüfungsstelle zu prüfen. Die Prüfung soll sich auf die Ordnungsmäßigkeit der Rechnungslegung sowie auf die wirtschaftliche und satzungsgemäße Verwendung der Mittel erstrecken.

Das Plenum beschließt ferner über die Entlastung des Verwaltungsausschusses. Die Entlastung bedarf der Genehmigung des MWK und des MF.

§ 15

Das Plenum beschließt ferner über die Geschäftsordnung, Druckschriftenordnung, Bestimmungen über die Verleihung der Gauß-Medaille und über Änderungen dieser Satzung.

§ 16

(1) Zu Wahlen und Beschlußfassungen gemäß § 14 Abs. 1 und 3 und § 15 muß mindestens die Hälfte der Anzahl der ordentlichen Mitglieder unter 70 Jahren anwesend sein.

(2) Die Wahlen und die Beschlüsse über Satzungsänderungen erfordern eine Stimmmehrheit von zwei Dritteln aller anwesenden stimmberechtigten Mitglieder. Führt bei der Wahl des Präsidenten und des Generalsekretärs der erste Wahlgang zu keiner Zweidrittelmehrheit, so findet sofort ein zweiter Wahlgang statt. Wird auch hierbei die Zweidrittelmehrheit nicht erzielt, so ist in einem dritten Wahlgang gewählt, wer die absolute Mehrheit erreicht. Notfalls ist eine Stichwahl durchzuführen. Bei Stimmgleichheit entscheidet das Los.

(3) Bei den übrigen Beschlußfassungen und sonstigen Abstimmungen entscheidet die einfache Mehrheit der stimmberechtigten Anwesenden.

(4) Ordentliche Mitglieder können ihr Stimmrecht durch schriftliche Vollmacht auf ein anderes ordentliches Mitglied übertragen; in diesem Fall gelten sie als anwesend.

§ 17

(1) Die Wahl des Präsidenten und des Generalsekretärs bedarf der Bestätigung durch die LReg.

(2) Der Haushaltsplan und Änderungen dieser Satzung bedürfen der Genehmigung durch die LReg.

(3) Das Ergebnis der Wahlen der ordentlichen Mitglieder und der Klassenvorsitzenden, der Ausschluß eines Mitglieds und der Verzicht eines Mitglieds auf die Mitgliedschaft sind der LReg. anzuzeigen.

Übergangsbestimmungen

Die Satzung tritt mit dem Tag der Genehmigung in Kraft. Befristet auf fünf Jahre nach dem Inkrafttreten der Satzung können der Klasse für Ingenieurwissenschaften bis zu 45 ordentliche Mitglieder unter 70 Jahren angehören, wobei die Höchstzahl aller ordentlichen Mitglieder unter 70 Jahren in der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft auf 100 begrenzt bleibt.

Vom Taler zur Mark Münz- und Geldgeschichte der Neuzeit

Eine Wanderausstellung des Niedersächsischen Münzkabinetts der Deutschen Bank (Hannover), des Niedersächsischen Landesmuseums Hannover und des Stiftungsfonds Deutsche Bank (Essen)
in Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Braunschweig/ Wolfenbüttel, Fachbereich Wirtschaftswissenschaften und der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

Dauer der Ausstellung: 27. Mai bis 13. September 2002
Ort: Neubau der FH in Wolfsburg, Robert-Koch-Platz 8 a

AUSSTELLUNGSERÖFFNUNG AM 27. MAI 2002

Grussworte

Herr Prof. Dr. Wolf-Rüdiger Umbach, Präsident der FH Braunschweig/Wolfenbüttel

Herr Henrik Herr, Direktor der Deutschen Bank AG, Wolfsburg

Herr Rolf Schnellecke, Oberbürgermeister der Stadt Wolfsburg

Herr Prof. Dr. Joachim Klein, Präsident der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

VORTRAG

Herr Dr. Reiner Cunz, Niedersächsisches Landesmuseum/Niedersächsisches Münzkabinett
Vom Taler zur Mark, Geldgeschichte der vergangenen fünfhundert Jahre (1502-2002)

BESUCH DER AUSSTELLUNG

BEGLEITVORTRÄGE

Am 11. Juni 2002

Prof. Dr. Niklot Klüßendorf
(Universität Marburg, Geschichtswissenschaften: Numismatik und Geldgeschichte)
Das deutsche Geldwesen nach 1945, Zeitgeschichte im Spiegel der Karikatur

Am 26. August 2002

Prof. em. Dr. Friedrich Geigant
(Universität Hannover, Wirtschaftswissenschaften: Volkswirtschaftslehre)
Perspektiven des Euro

Fünftes Colloquium der Kommission Recht und Technik der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft in Verbindung mit der Universität Lüneburg
am 30. August 2002 in Lüneburg

**Abfallentsorgung – als technisches, wirtschaftliches
und rechtliches Problem**

- HARTWIG DONNER: (Präsident der Universität Lüneburg)
Begrüßung
- JOACHIM KLEIN: (TU Braunschweig, Präsident der Braunschweigischen Wissen-
schaftlichen Gesellschaft)
Begrüßung
- KLAUS FRICKE: (TU Braunschweig)
*Abfallentsorgung als Problem der Technik: Status und Perspekti-
ven aus der Sicht der Ingenieurwissenschaften*
- LUDGER-ANSELM
VERSTEYL: (Rechtsanwalt und Notar, Burgwedel)
*Die Auswirkungen des Europäischen Rechts auf die deutsche Ab-
fall-wirtschaft*
- CHRISTIANE RÜHL: (Landkreistag Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf)
Die Stellung der Kommunen in der Abfallwirtschaft
- JOCHEN RAHM: (Braunschweigische Kohlen-Bergwerke AG, Helmstedt)
Die Rolle der Privatwirtschaft in der Abfallentsorgung
- JÜRGEN GORNAS: (Universität der Bundeswehr, Hamburg)
Kostensteuerung in der Abfallentsorgung
- HELGE WENDENBURG: (Niedersächsisches Umweltministerium, Hannover)
Statement

Interdisziplinäres Symposium

der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft,
des Braunschweigischen Landesmuseums,
des Max-Planck-Instituts für Geschichte – Repertorium der deutschen Königspfalzen
und
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig

Schirmherrschaft Ministerpräsident Sigmar Gabriel

Liebfrauenberg und Georgenberg? Zur Frage der Pfalzgründung in Goslar

**vom 4. bis 6. Dezember 2002
in Goslar**

Grußworte

Erste Sektion: Die historische und archäologische Quellenlage zum Liebfrauenberg
Mittwoch, 4. Dezember 2002

HANS-JOACHIM BEHR
Braunschweig

Moderation

CASPAR EHLERS
Göttingen

Die Harzer Königspfalzen im 10. und 11. Jahrhundert und
die Frage nach der Goslarer Pfalz

HARTMUT RÖTTING
Wolfenbüttel

Die Liebfrauenberg – Position: archäologisch, Stratigraphie
und Datierung zu Bebauung und Sachgut

Zweite Sektion: Die Liebfrauenberg – Position: archäometrisch
Donnerstag, 5. Dezember 2002

GERD BIEGEL
Braunschweig

Moderation

CHRISTIANE RÖMER-STREHL
Clausthal
und

Materialanalysen zu Goslarer Keramikfunden im Vergleich
zur Regionalkeramik des früheren Mittelalters

PETER SCHOLZ
Würzburg

WOLFGANG BROCKNER
Clausthal

Erze und metallurgische Relikte aus der Goslarer Pfalz-
grabung im archäometrischen Befund

PIETER M. GROOTES Kiel	C-14 Analysen von schichtbezogenen Objekten der Goslarer Pfalzgrabung
EBERHARD MAY Braunschweig	Differenzierung der Tierknochenfunde aus der Pfalzgrabung Goslar im Vergleich zur frühen Stadt Braunschweig
LOTHAR KLAPPAUF Goslar	Archäologische Quellen zur Entwicklung der frühen Montanwirtschaft im Harz unter den Ottonen und Saliern

Dritte Sektion: Vergleichende historische Argumentation zur Goslarer Pfalzenfrage

CASPAR EHLERS Göttingen	Moderation
GERHARD STREICH Göttingen	Zur Frage einer Burg oder Pfalz auf dem Georgenberg
THOMAS ZOTZ Freiburg	Der Liebfrauenberg als vermutlicher Ort der Pfalz Heinrichs II.
JOACHIM DAHLHAUS Heidelberg	Die Pfalz der Salier auf dem Liebfrauenberg

Abendvortrag

Öffentlicher Vortrag im Wintersaal der Kaiserpfalz

HEIKO STEUER
Freiburg

Empfang

Stadt Goslar, Wintersaal der Kaiserpfalz

Vierte Sektion: Baugeschichtliche Aspekte zum Pfalzenbau

Freitag, 6. Dezember 2002

JOACHIM KLEIN Braunschweig	Moderation
CORD MECKSEPER Hannover	Die baugeschichtliche Forschung zur Königspfalz
ANTONELLA SVEVA GAI Paderborn	Zu Rekonstruktion und Zeitstellung der spätottonischen Pfalz in Paderborn
MATTHIAS WERNER Jena und Uwe Lobbedey Münster	Resümee und Schlussdiskussion

Weitere Veranstaltungen 2002

14.02.2002 DISKUSSIONSFORUM

Partnerschaft Universität Akademie

Was können wir, jeder in seiner spezifischen Struktur und Funktion, füreinander tun?

Veranstalter:

Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft

Ort:

Haus der BWG, Fallersleber-Tor-Wall 16, 38100 Braunschweig

18.10.2002 AUSSTELLUNGSERÖFFNUNG

Justus von Liebig

„Alles ist Chemie“

Begrüßung:

Dr. h.c. Gerd Biegel, M.A., Ltd. Museumsdirektor des Braunschweigischen Landesmuseums

Grußwort:

Loretta Lewicki, Internationaler Freundeskreis zur Geschichte der Naturwissenschaften, Ludwigshafen

Festvortrag:

Prof. Dr. Joachim Klein, Präsident der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

„Justus von Liebig – Pionier der Chemie als exakter Wissenschaft“

Veranstalter:

Justus-Liebig-Gesellschaft zu Gießen e. V.

Internationaler Freundeskreis zur Geschichte der Naturwissenschaften, Ludwigshafen

Deutsche Gesellschaft zur Erforschung des 19. Jahrhunderts

Braunschweigisches Landesmuseum

Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft

Ort:

Braunschweigisches Landesmuseum

**06.12.2002 VERLEIHUNG BRAUNSCHWEIGER BÜRGERPREIS
FÜR HERAUSRAGENDE STUDENTISCHE LEISTUNGEN**

Begrüßung:

Dr. h.c. Gerd Biegel, M.A., Ltd. Museumsdirektor des Braunschweigschen Landesmuseums

Preisverleihung und Vorstellung der Preisträger:

Thomas Heinisch, Vorstandsvorsitzender der Stiftung Braunschweiger Bürgerpreis

Prof. Dr. Jochen Litterst, Präsident der TU Braunschweig

Gratulation:

Prof. Dr. Joachim Klein, Präsident der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

Festvortrag:

Prof. Dr. Karsten Danzmann, MPI für Gravitationsphysik und Universität Hannover:

„Die dunkle Seite unseres Universums – Gravitationswellen sollen uns davon erzählen“

Veranstalter:

Stiftung Braunschweiger Bürgerpreis für herausragende studentische Leistungen

Braunschweigisches Landesmuseum

Technische Universität Braunschweig

Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft

Ort: Braunschweigisches Landesmuseum

PLENARVERSAMMLUNGEN

WERNER KÖHLER, Erfurt

Die Akademie gemeinnütziger Wissenschaften zu Erfurt Eine alte, junge Akademie

Braunschweig, 10.01.2002*

Sehr geehrter Herr Präsident,
sehr geehrter Herr Generalsekretär,
meine sehr verehrten Damen und Herren,

es sind nur knapp 30 Autokilometer, die Erfurt zugunsten Göttingens von Braunschweig trennen. Daß es in Göttingen eine alte Akademie gibt, ist weitgehend bekannt, aber daß auch Erfurt eine fast ebenso alte Akademie beherbergt, entzieht sich der Kenntnis Vieler. Bei der Fülle von Akademien, die es seit einigen Jahren gibt, kann das nicht wunder nehmen. Betriebsakademien, Seniorenakademien, katholische und evangelische Akademien und kürzlich sah ich am Münchener Hauptbahnhof eine Friseurakademie, die nichts anderes als ein Haarschneidesalon war. Das alles ist natürlich weit entfernt von dem Heros Akademos geweihten Garten, in dem Platon seine Vorträge zu halten pflegte und der später unter dem Namen Akademie die Schule Platons bezeichnete. Ich bin deshalb Herrn Präsidenten Klein dankbar, daß er mich aufgefordert hat, einige Worte zur Akademie gemeinnütziger Wissenschaften zu Erfurt zu sagen: eine alte Akademie, die 1754 gegründet wurde, und eine junge Akademie, da sie 1990 ihre aktive Arbeit wieder aufnahm, weil sie während der Jahre 1945 bis 1989 nicht arbeiten durfte.

In Deutschland war 1700 unter dem Einfluß von Leibniz die Brandenburgische Societät gegründet worden, in Göttingen 1751 eine wissenschaftliche Gesellschaft als Vorläufer der heutigen Akademie. In Erfurt suchte der Statthalter des Kurfürsten von Mainz und gleichzeitig Rektor der Universität, Reichsgraf Philip Wilhelm von Boineburg, unter dem Einfluß seines Mentors Leibniz, eine Wissenschaftssocietät zu gründen. Sein frühzeitiger Tod hat dies verhindert. – Erfurt war für 10 Jahre Sitz einer Akademie, der Leopoldina, die damals als Wanderakademie ihre Sitzungen in dieser Stadt abhielt, da der Medizinprofessor Andreas Elias von Büchner zu ihrem 6. Präsidenten gewählt wurde, dann aber 1745 einem Ruf nach Halle folgte.

Die Gründung der Erfurter Akademie ist ein Verdienst des Arztes Johann Wilhelm Baumer, in Halle der Schüler Büchners und des um die Hallesche Aufklärung verdienten Philosophen Christian Wolf. Er versuchte, eine Gelehrten-gesellschaft zu schaffen, in der und mit der eine Wissenschaft in neuem Geiste betrieben werden konnte, außerhalb der Universität, der er als Professor angehörte und die noch in der Scholastik verkrustet war. Der Gönner und Freund Baumers, der kurmainzische Kammerdirektor und Geheimrat

* Vortrag gehalten anlässlich der Neujahrssitzung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.

Johann Daniel Freiherr von Lincker und Lützenwick richtete an den mit ihm verwandten Landesherrn, den Kurfürsten und Mainzer Erzbischof Friedrich Graf von Ostein die Bitte um Betätigung des Planes zur Gründung einer Sozietät.

Der Kurfürst genehmigte mit dem Stiftungsbrief vom 17. Juli 1754 die Errichtung einer „Churfürstlich-Mayntzischen Gesellschaft oder Academie nützlicher Wissenschaften“. Der Mainzer Erzbischof übernahm das Protektorat, er bestimmte Lincker zum Präsidenten, den Rektor Schorch zum Direktor und Baumer zum Sekretär.

Der umtriebige Baumer wußte der neuen Akademie schon bald ein aktives Leben zu verleihen, ganz im Sinne des Wahlspruchs der Akademie „Propter fructus gratior – Möge die Palme der Wissenschaft auch Früchte tragen“. Das Siegel der Akademie zeigt neben dem Wahlspruch auch einen fruchtetragenden Baum. – In dem der Gründung folgenden Jahr wurde der Akademie der botanische Garten zugeordnet, später ein chemisches Laboratorium, eine Sternwarte und ein anatomisches Theater. Der Wissenschaft wurden damit experimentelle Grundlagen geschaffen, die es an der Universität mit ihren *Vorlesungen* nicht gab. Es erschien der 1. Band der „Acta Academiae Electorales Moguntiae Scientiarum utilium quae Erfordia est“, die als „Acta Academiae Scientiarum“ noch heute publiziert wird. Unter den Mitgliedern fanden sich die Träger berühmter Namen: der Literaturkritiker Gottschedt, der Pflanzenchemiker Cartheuser und der Botaniker Gleditsch.

Nach kurzer Zeit des Gedeihens kam ein Niedergang. Der große Gönner und Protektor, Kurfürst von Ostein starb, der Akademiepräsident Lincker verließ Erfurt, ebenso der Sekretarius Baumer. Die monatlichen Sitzungen kamen völlig zum Erliegen, die Akademie schien tot zu sein.

Mit dem neuen Statthalter in Erfurt, Carl Theodor Reichsfreiherr von Dalberg, den der neue Kurfürst 1774 zum Spezialprotektor ernannt hatte, kam ein Mann, der die Erfurter Akademie zu ihrer höchsten Blüte führte. Er setzte sich mit einem solchen Nachdruck für die Akademie ein, daß der Erfurter Chronist Oergel von ihm sagte: „Man wird unter den Hochgestellten dieser Erde kaum einen zweiten finden, der so die Zwecke und Ziele einer gelehrten Gesellschaft zu den eigenen gemacht hat und sich so mit derselben identifiziert hat, wie er“. Er erarbeitete neue Statuten, forderte eine regelmäßige Vortragstätigkeit und das Ausschreiben von Preisfragen, er beseitigte den Dualismus von Akademie und Universität und finanzierte aus eigener Tasche den botanischen Garten, das chemische Laboratorium und die anderen Einrichtungen der Akademie.

Das Ansehen einer Akademie oder einer Wissenschaftlichen Gesellschaft wird von ihren Mitgliedern und deren Aktivität getragen. Dalberg verstand es, solche Männer um sich zu sammeln. Mit dem einstigen preußischen Kammerpräsidenten von Dacheröden und dessen Tochter Caroline, die Wilhelm von Humboldt heiratete, wurde der gesamte Humboldtsche Kreis herangezogen: Schiller und Wieland wurden Mitglieder, Goethe erst 1811, die Mediziner Johann Peter Frank und Hufeland, der Chemiker Trommsdorff und der Physiker Chladni. Im Dalbergschen Haus führt die Akademie heute ihre wissenschaftlichen Sitzungen durch, in der Statthalterei Dalbergs, dem jetzigen Sitz des Ministerpräsidenten, ihre Jahresversammlungen.

Dalberg und sein Kreis suchten, an der Lösung vieler Probleme des ausgehenden 18. Jahrhunderts teilzunehmen, wissenschaftliche und technische Fragen zu beantworten,

die alle dem strengen Prinzip der Nützlichkeit standhalten mußten, denn die Nützlichkeit war im Namen der Akademie verankert. Entsprechend waren die Preisaufgaben, die sich vor allem merkantilen Fragen widmeten: dem Hopfenanbau, dem Waidanbau zur Indigogewinnung, den Waldanpflanzungen, der Gewinnung von Steinkohle, Edelsteinen und Salz im Thüringer Raum usw. usw.

In diese Blüte brachte das Jahr 1802 eine Zäsur. Der Mainzer Erzbischof starb und Dalberg wurde sein Nachfolger. In einem geheimen Staatsvertrag mit Frankreich wurde Erfurt an Preußen übergeben. Der Präsident der Akademie, Carl Friedrich von Dacheröden, bat den preußischen König um dessen Protektion sowie um die Führung des Titels „Königlich preußische Akademie nützlicher Wissenschaften“. Der preußische Staat nahm die Erfurter Akademie äußerst reserviert zur Kenntnis und ordnete eine umfassende Prüfung der gesamten wissenschaftlichen Situation in seiner neu gewonnenen Stadt an. Die Evaluierung ist also nichts neues. Als Ergebnis war, neben der Schließung der Universität, auch die Auflösung der Akademie vorgesehen. Diese drohende Entwicklung wurde durch den Einmarsch napoleonischer Truppen 1806 gestoppt, es wurde sogar von der französischen Regierung die kleine, bis dahin von Preußen der Akademie noch gewährte finanzielle Unterstützung fortgesetzt. Die Akademie suchte das Wohlwollen der neuen Herren zu erlangen und wählte einige französische Regierungsmitglieder, Beamte und Wissenschaftler zu Mitgliedern. Das gleiche geschah, als Erfurt 1814 wieder preußisch wurde. Jetzt ehrte man im Hochgefühl der Stunde die Helden der Befreiungskriege und der Staatsreformen durch die Mitgliedschaft. Fürst Barclay de Tolly, Blücher, Gneisenau, Fürst von Hardenberg, Freiherr vom Stein, den Herzog von Wellington. Und alle nahmen die Wahl an.

Schon bei seinem ersten Besuch in Erfurt, am 1. August 1814, verhiess der preußische König Wilhelm III der Akademie seine Förderung und verlieh ihr das Recht, sich Königliche Akademie der Wissenschaften zu Erfurt zu nennen. Mit der Bestätigung der Statuten 1819 wurde die Bezeichnung Akademie nützlicher Wissenschaften durch die vom Legationsrath Bertuch eingeführte Benennung Akademie gemeinnütziger Wissenschaften zu Erfurt gültig. Die Universität aber ereilte ihr Schicksal, sie wurde 1816 geschlossen und mit ihr verlor die Akademie ein wichtiges wissenschaftliches Hinterland. Die nach dem Erfurter Vorbild 1759 gegründete Bayerische Akademie der Wissenschaften blühte auf. Sie konnte auf das Potential ihrer Universitätsinstitute zurückgreifen, Erfurt entwickelte sich sehr frühzeitig im 19. Jahrhundert zur reinen Gelehrten-gesellschaft ohne aber ihre europäische Bedeutung zu verlieren wie die Mitgliederwahlen beweisen: darunter der schwedische Chemiker Berzelius, der englische Botaniker Banks, der Chemiker Döbereiner, der Historiker Luden, der spätere Leopoldina-Präsident Nees von Esenbeck und viele andere.

Die naturwissenschaftliche Arbeit der Erfurter Akademie begann mit dem Verlust der Universität an Bedeutung zu verlieren, die geisteswissenschaftliche Forschung war der nunmehrigen Gelehrten-gesellschaft mehr angemessen. In der Geschichte der Akademien weist die Erfurter wohl eine Besonderheit auf; als eine „Tochter der Akademie“ wurde 1828 der „Gewerbeverein“ gegründet, die praktische Wirksamkeit fand damit eine weitere Bestätigung.

Als Präsidenten der Akademie wirkten von 1880 - 1925 Prinzen aus dem Hause Hohenzollern in einem reinem Repräsentationsamte, die Leitung der Akademie lag in den Händen

des Vizepräsidenten. Als der Gymnasialprofessor Heinzelmann 1891 die Vizepräsidentschaft übernahm, da wurde nicht nur die Akademie wieder zu neuer Aktivität geweckt, es wurden jetzt auch erziehungswissenschaftliche Probleme in zunehmendem Maße berücksichtigt. Der Reformpädagoge Christian Gotthilf Salzmann war schon 100 Jahre zuvor Mitglied der Akademie gewesen. Nun wurden die anerkannten Erziehungswissenschaftler Georg Kerschensteiner und Wilhelm Rein von dem Philosophen und späteren Nobelpreisträger Rudolf Eucken, der der Akademie viel Zeit opferte, zur Aufnahme in die Akademie vorgeschlagen.

Im Jahr 1908 übernahm der Gymnasialprofessor und spätere Geheimrath Biereye das Amt des Vizepräsidenten, der, 1930 zum Präsidenten der Akademie gewählt, ihre Geschicke über 37 Jahre, bis 1945 leitete und der nominell bis zu seinem Tode 1949 dieses Amt innehatte. Unter ihm wurde von der Akademie und der Lehrerschaft Erfurts 1919 eine „Erfurter Volkshochschule“ gegründet, an deren Lehrtätigkeit sich die Akademie bis 1933 beteiligte; es kam zur Gründung einer „Abteilung für Erziehungswissenschaft und Jugendkunde“, die eine gewisse Selbständigkeit gegenüber der Gesamtakademie hatte, sowie eine „Abteilung zur wissenschaftlichen Erforschung der Erfurter Heimat“. Damit setzte man einen schon in der 2. Hälfte des 19. Jhds. beschrittenen Weg fort, die Kulturgeschichte der Stadt und ihrer Umgebung zu verfolgen, wobei auch Geographie, Flora und Fauna ihren angemessenen Platz fanden. Ein erfolgreiche publizistische Arbeit dieser Kommission fand auch in der Bevölkerung seinen Nachhall.

Das Jahr 1933 mit dem Beginn der nationalsozialistischen Ära brachte auch der Erfurter Akademie zunehmende Schwierigkeiten. Die Akademie suchte einen Kompromiß, indem sie das seit 1888 verwaiste Amt des Protektors dem Prinzen August Wilhelm von Preußen antrug, der sich im Nationalsozialismus engagiert hatte und indem man zwei relativ bedeutungslose braune Ortsgehaltige zu Mitgliedern wählte. Mehr läßt sich nicht nachweisen. Es wurden aber weiterhin wissenschaftlich ausgewiesene Forscher aufgenommen. Die Erfurter Akademie hat sicher keine offene, klare politische Position gegenüber den neuen Machthabern eingenommen. Der Senat versuchte, sich nur der Wissenschaft verpflichtet fühlend, die Akademie durch diese Zeit zu steuern. Es kamen in dieser Zeit auch Mitglieder der Akademie in Bedrängnis. Man forderte z.B. von der Akademie, gegen den Päpstlichen Geheimen Kämmerer und Rektor des Pädagogischen Seminars am Erfurter Ursulinenkloster, Joseph Adrian und gegen den Pädagogen Theodor Neubauer, unverzüglich „Schritte einzuleiten, um das Ansehen ihres“ [also der Akademie] „Namens zu wahren“. Der Sekretar Steudel gewann durch eine angebliche Prüfung der Angelegenheit Zeit. Außerdem legte er entgegen der Aufforderung in Berlin keine Mitgliederlisten mehr vor, man meldete nur die Neuaufnahmen. So konnten auch Mitglieder beibehalten werden und in der Akademie wirksam sein, die Publikationsverbot hatten.

Die letzte Sitzung des Senats, der gleichzeitig Auditorium für einen Vortrag war, fand am 22. Februar 1945 statt. Einen Monat später besetzten amerikanische Truppen Erfurt. – Dem nach den Kriegswirren territorial verstreuten und auch stark dezimierten Senat gelang es nicht, die Akademie unter der sowjetischen Besatzungsmacht zu neuem Leben zu erwecken, einige Restaurationsversuche in Erfurt und in den alten Bundesländern, in dem Mitglieder lebten, führten zu keinem Erfolg. Der real existierende Sozialismus in Ost-

deutschland hatte kein Interesse, sondern eher Besorgnisse gegenüber einer länderübergreifenden Gelehrten-gesellschaft, für die eine freie Forschung und die Zusammenarbeit von Wissenschaftlern aller Disziplinen ohne jegliche ideologische Gebundenheit ein Hauptanliegen sein sollte. Die Arbeit kam von 1945 bis 1989 zum Erliegen. Die Akademie wurde aber weder aufgelöst noch verboten. Wenige Tage nach der Maueröffnung, am 16. November 1989, fand sich eine Gruppe in Erfurt, später ergänzt um Wissenschaftler aus Jena und anderen Städten zusammen, um im Auftrage der noch wenigen lebenden Altmitglieder die Akademie gemeinnütziger Wissenschaften zu Erfurt mit neuem Leben zu erfüllen.

Die erzwungene Abstinenz hatte einen Vorteil gegenüber anderen Akademien in Ostdeutschland: sie hatte keine Mitglieder, die aus anderen als wissenschaftlichen Gründen gewählt worden waren. Ausgenommen hiervon ist die Singularität Leopoldina, die übrigens erst 1952 ihre Arbeit wieder aufnehmen durfte und die sich in ihrer Zuwahlpolitik nicht beeinflussen ließ. Man kann nicht behaupten, daß uns dies die besondere Zuneigung der, wie es so schön hieß, Partei- und Staatsführung eingebracht hätte.

Das neue Statut der Erfurter Akademie trat am 9. Februar 1990 in Kraft, die Zahl der Ordentlichen und Auswärtigen Mitglieder beträgt gegenwärtig 150. Dabei sind wir der alten Akademie gefolgt, die Mitglieder in allen Bundesländern zu wählen, ebenso im Ausland, so daß sich jetzt Mitglieder aus 9 europäischen Staaten und aus den USA zusammengefunden haben.

Als die Akademie ihr Arbeit wieder aufnahm, gab es den Satz noch nicht, daß Akademien die Orte seien, an dem alte Männer alten Männern Vorträge halten, ein Satz, der auch in der häufigen Wiederholung nicht geistreicher wird. Derzeit kommen zwei Dinge zusammen, die den wissenschaftlichen Societäten Probleme bereiten: die eben genannte Kritik und der chronische und zunehmende Geldmangel der Zuwendungsgeber. Das macht sich besonders bei den sogen. Langzeitvorhaben bemerkbar, von denen ich nach wie vor glaube, daß sie in den Akademien am besten und am einzigen zuständigen Ort aufgehoben sind. Ich darf an dieser Stelle sagen, daß ich natürlich, wenn ich von Akademien spreche, die Braunschweigische Gesellschaft und die Jungius-Gesellschaft in Hamburg ausdrücklich mit einbeziehe. Als Langzeitvorhaben besteht in Erfurt die Ausgabe der bisher ungedruckten Schriften von Johann Joachim Winckelmann, die wir gemeinsam mit der Mainzer Akademie betreiben und mit der Winckelmann-Forschungsstelle in Stendal.

Die Erfurter Akademie führt die Sitzungen ihrer beiden Klassen, der Mathematisch-naturwissenschaftlichen und der geisteswissenschaftlichen, stets gemeinsam durch. Das ist zwar etwas anstrengend, aber so ist eine Klassensitzung gleichzeitig eine Plenarsitzung und, was besonders wichtig ist, es wird die so oft beschworene Interdisziplinarität wirksam. Anlässlich der 250-Jahresfeier der Göttinger Akademie hat der Bundespräsident darauf hingewiesen, daß Akademien Orte des Gespräches sein müssen, ohne Druck von außen und daß man sich nicht schämen soll, so habe ich ihn verstanden, in diesem Falle einer Tradition zu folgen. Es wird uns allen immer wieder vorgeworfen, wir würden uns der Öffentlichkeit nicht verständlich machen und müßten mehr wirksam werden. In diesem Zusammenhang erinnere ich mich der Äußerung eines Fernseh-Wissenschaftsredakteurs. Er wurde gebeten, doch wenigstens 10 Minuten einer Internationalen Wissenschaftsversammlung zu widmen. Seine traurige Antwort: „Ich bin doch schon froh, 3 Minuten zu

haben, Wissenschaft bringt keine Quote“. Deshalb müssen die Akademien Orte des Gespräches ohne Druck von außen bleiben, will man nicht noch mehr Porzellan zerschlagen und unser kulturelles Erbe in Gefahr bringen. PISA sollte eine Warnung sein.

Die Erfurter Akademie publiziert neben ihrem Jahresbericht und den Sitzungsberichten der beiden Klassen noch ihre sogen. Sonderschriften, die den Mitgliedern oder deren Mitarbeitern offen stehen. Wir bemühen uns, jährlich 3 - 4 dieser Bücher zu publizieren. Die Acta Academiae Scientiarum nehmen meist die Symposiumsberichte auf. Im Abstand von 2 Jahren findet das Symposium „Mensch – Umwelt“ statt, das sich wechselnden Themen von Umweltfragen widmet. Unsere Kommission Humanismusforschung hat sich in diesem Jahre den Erfurter Humanisten in einem Symposium gewidmet, der Anlaß war die 500. Wiederkehr der Immatrikulation Luthers an der Universität Erfurt. Das nächste Jahr wird unter dem Titel „Adam Ries“ stehen. „Evolution und Geisteswissenschaften“ war ein weiteres Thema, das wir gemeinsam mit der Mainzer und der Sächsischen Akademie gestaltet haben. Mit der Leopoldina haben wir im vergangenen Jahr in einem Symposium der 300. Wiederkehr des Geburtstages von Andreas Elias Büchner gedacht; er verbindet beide Akademien, wie ich schon eingangs sagte, indem er die erste Anregung zur Erfurter Akademie gab und dann noch in Erfurt Leopoldinapräsident wurde. – Wir sind also an einer Zusammenarbeit mit den anderen Akademien sehr interessiert und ich würde mich freuen, wenn dies auch mit Ihnen in Braunschweig möglich wäre.

Ich danke Ihnen für Ihre Geduld, aber wenn man so bald vor dem 250. Geburtstag steht, gibt es einiges zu erzählen.

Prof. Dr., Dr., Dr. h.c. Werner Köhler
Präsident der Akademie gemeinnütziger Wissenschaften zu Erfurt
Adolf-Reichwein-Str. 26 · D-07745 Jena

PROF. DR.RER.NAT. JOACHIM KLEIN
Präsident der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

Chemie ist Leben – (über)lebt die Chemie?

Braunschweig, 10.01.2002*

„Chemie ist Leben“ – unter dieses eingängige Motto hat die Chemische Industrie auf der EXPO 2000 in Hannover die Sympathiewerbung für ihre Sache, die Chemie, gestellt. In einer Art „Geisterbahn“ wurden die Besucher mit einer Reisezeit von wenigen Minuten über Schautafeln und Schaubilder mit den Leistungen der Chemie für das Leben konfrontiert:

- | | |
|-----------------------------------|--|
| – Arzneimittel | retten das Leben und verbessern die Lebensqualität |
| – Dünge- und Pflanzenschutzmittel | sichern die Ernährung einer wachsenden Weltbevölkerung |
| – Synthesefasern | der Stoff, aus dem unsere Kleider sind |
| – Farben | liefern Qualität und Lebensfreude und schützen vor Verfall |
| – Kunststoffe | die Werkstoffe des 20. Jahrhunderts |

Welcher vernünftige Mensch würde auf eine dieser Leistungen für sein Leben verzichten wollen – und dennoch dieser millionenschwere Werbeaufwand, um einige Hunderttausend der EXPO-Besucher positiv auf die Chemie einzustimmen?

Es gab durchaus gute Gründe für den Versuch, denn es ist jedermann offensichtlich, dass die Chemie – vor allem in Gestalt ihrer Industrie – Probleme hat: Die Chemie stimmt nicht mehr – zwischen einer Industriebranche und den Menschen, die deren Leistung bedürfen und gern in Anspruch nehmen. Dieser Industriezweig steht vielmehr im Verdacht der Umweltverschmutzung und der Gesundheitsschädigung: Es ist ein schlimmes Urteil für ein Lebensmittel, wenn es heißt: „Da ist Chemie drin!“ Seveso ist inzwischen überall, zumindest in den Köpfen, und dies weltweit, so auch in Deutschland.

Dabei hat alles einmal so gut angefangen:

Auf der Basis einer neuen blühenden wissenschaftlichen Disziplin, der Chemie, und im Verbund mit tatkräftigen Unternehmern entstand ab 1850 ein Industriezweig, der in vielen Produktbereichen in der Welt führend war und zum stolzen Wahrzeichen deutscher industrieller Leistungsfähigkeit wurde. Auch wenn die Verwicklung der IG-Farben in die Kriegswirtschaft einige dunkle Schatten warf, so waren auch die Nachkriegsjahre, vor allem in Gestalt der großen IG-Farben-Nachfolger, durch das Motto „Blühen, Wachsen und Gedeihen“ gekennzeichnet, zumindest soweit es um die wirtschaftlichen Ergebnisse und die Schaffung und Sicherung hunderttausender qualifizierter Arbeitsplätze ging. Die chemische Industrie zählt nach wie vor zu den Vorzeigebereichen und Kernelementen der deutschen Volkswirtschaft und ihrer Wirtschaftskraft.

* Vortrag gehalten anlässlich der Neujahrssitzung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.

Warum dann diese Vertrauenskrise und dieser Image-Verlust? Es steht heute außer Zweifel, dass die Produktion und einige Produkte der chemischen Industrie unsere Umwelt und die Menschen zeitweise erheblich belastet haben. Hinzu kamen und kommen spektakuläre Unfälle, die Dank einer allgegenwärtigen Publizistik weltweite Verbreitung erfahren. Das mit dem Wohlstand steigende Umweltbewusstsein hat neue Werteordnungen geschaffen, die sich überwiegend zum Nachteil der Chemie bemerkbar machten. Stichworte wie Seveso, Dioxin, Contergan stehen symbolhaft für das Unbehagen, das viele Menschen heute – bewusst oder unbewusst – mit dem Wort Chemie verbinden: „Chemie *gegen* Leben“. Dabei gibt es dann kaum wieder einen Industriezweig, der sich – auch aufgrund seiner Kompetenz – so konsequent und erfolgreich für die Belange des Umweltschutzes eingesetzt hat. Dies kann er mit eindrucksvollen Fakten und Zahlen belegen. Wer mit dem Zug von Frankfurt kommend kurz vor Mannheim das Werksgelände der BASF am gegenüberliegenden Rhein-Ufer überschaut, wird statt ehemals brauner und schwarzer Rauchfahnen nur noch weiße Dampfwölkchen erkennen. 20 Mrd. DM Investitionen seit 1985 und 7 Mrd. DM Betriebskosten pro Jahr für den Umweltschutz haben ihre objektiven Erfolge gebracht – aber das subjektive Vertrauen der Verbraucher bislang nicht zurückgewinnen können. Hat da die EXPO geholfen, konnte sie überhaupt helfen?

Und der Industriezweig, den wir bislang als „die Chemische Industrie“ bezeichnen, beschreitet interessanterweise inzwischen neue Wege, und zwar weltweit: Man trennt sich von der „Chemie“. Die Integration verschiedenster Produktionsbereiche der anorganischen und organischen Technologie in einem stofflichen und energetischen Verbund gehörte über viele Jahrzehnte zum Erfolgskonzept der chemischen Industrie. Die großen Chemie-Komplexe in Ludwigshafen, Leverkusen, Leuna, Dupont/Delaware etc. sind das Abbild dieser Entwicklung. An der Spitze der Unternehmen standen traditionell Chemiker, und das Denken in chemischen Zusammenhängen war wesentlicher Teil der Unternehmensstrategie und –konzeption. Karl Winnacker, der sich seinem Studienort Braunschweig sein Leben lang verbunden fühlte, war als Chef der Höchst AG 1950 bis 1965 eine dieser herausragenden Persönlichkeiten. Inzwischen haben Manager der Finanzwelt die Firmenregie übernommen, und fünf Jahre zwischen 1995 und 2000 haben genügt, den Standort Höchst auf der Chemielandkarte geographisch und organisatorisch zu löschen: Nach dem Verkauf aller „Chemie“-Aktivitäten verblieb ein ehemals integrierter, nun selbständiger Bereich Pharma, der mit dem französischen Pharma-Partner Roussel-Uclaf fusionierte, sich den neuen klangvollen Namen „Aventis“ gab und seinen Firmensitz in Straßburg wählte: Das Ziel der Gründung eines allein den „Life Sciences“ verpflichteten Konzerns mit hohem Börsenpotential war erreicht: Dass die Prozesse und Produkte dieser „Life Science“-Strategie nach wie vor hauptsächlich chemischer Natur sind, gerät bei dieser Diktion wunschgemäß in den Hintergrund: Life Science Industry – auch eine Problemlösung unter dem Motto „Chemie ist Leben“?! Das Schicksal der Höchst AG ist, wie gesagt, kein Einzelfall. Beispiele, wie sich die aus der Chemie erwachsenen Pharmazeutischen oder Fein-Chemischen Produktionsbereiche der „Chemie“ entledigen, gibt es viele: Die Nennung von Namen wie Monsanto, ICI und Henkel, mag da genügen.

Die Bindung zwischen der akademischen wissenschaftlichen Forschung und der Industrie war in der Chemie traditionell eng und wechselseitig produktiv. Gerade auch ange-

sichts der skizzierten industriellen Neustrukturierung stellt sich daher auch die Frage nach dem Stand und Selbstverständnis der Chemie im Wissenschaftsbetrieb heute. Das betrifft vor allem die Universitäten. Unter einer weitgehend ruhigen Oberfläche sind durchaus Strömungen zu erkennen, die einen Ablösungsprozess in der Chemie in ihrem bisherigen Selbstverständnis bedeuten. Das geht einerseits in Richtung Biologie, andererseits in Richtung Materialwissenschaft mit Schwerpunkt Mikroelektronik. Als Beleg dafür kann ich die Umbenennung von „Departments of Chemistry“ in „Departments of Biological Chemistry“ an führenden Hochschulen der USA, die Einrichtung von Schwerpunkten für „Biomolekulare Chemie“ oder Materialwissenschaften in chemischen Fachbereichen bis hin zu Fakultäten für „Materialwissenschaften“ mit starken chemischen Inhalten oder Studiengängen für „Molekulare Biotechnologie“ nennen. Von der „Biomolekularen Chemie“ zur „Molekularen Biologie“ – so der Name eines Instituts in Jena – ist dann der Weg nicht mehr weit. Wenn die Biologie die Wissenschaft des Lebens ist, so wäre die Entwicklung der Chemie zur chemischen Biologie nur eine andere Formulierung des Mottos „Chemie ist Leben“.

Teil des Problems ist der Status der Chemie aus der Sicht der Kultusbehörden, der Schüler und ihrer Eltern, wenn es 1. um die Rolle der Chemie im Bildungsangebot der Schulen und danach 2. um die Nachfrage nach Studienplätzen in der Chemie geht. Dass hier Nachwuchssorgen bestehen, ist kein Geheimnis, auch dabei ist im Wettbewerb um die hellsten Köpfe die Biologie ein starker Konkurrent.

Alles in allem wollte ich Sie mit den bisherigen Ausführungen mit Fragestellungen konfrontieren, die in der einen oder anderen Weise die Chemie heute betreffen und zumindest die Frage erlauben, ob sich die Chemie nicht in einer Krise – vielleicht sogar Existenzkrise – befindet: Daher die Titelfrage: Überlebt die Chemie?

Justus von Liebig, einer der ganz großen unserer Wissenschaft, wählte interessanterweise ab 1844 die „Augsburger Allgemeine Zeitung“, um seine „chemischen Briefe“ an eine breitere Öffentlichkeit – heute würden wir sagen: die Gesellschaft – zu richten: Seine „Botschaft“ im ersten Brief lautete u.a. wie folgt: „Möchte es mir in diesem ersten Briefe gelingen, die Überzeugung zu befestigen, daß die Chemie als selbständige Wissenschaft eines der mächtigsten Mittel zu einer höheren Geisteskultur darbietet, daß ihr Studium nützlich ist, nicht nur insofern sie die materiellen Interessen der Menschen fördert, sondern weil sie Einsicht gewährt in die Wunder der Schöpfung, welche uns unmittelbar umgeben, an die unser Dasein, Bestehen und unsere Entwicklung aufs engste geknüpft sind.“ Soweit Justus von Liebig.

Unterstellt, wir hätten heute einen Autor von vergleichbarem Renommee, würden die Hannoversche Allgemeine Zeitung (HAZ) oder die Braunschweiger Zeitung (BZ) ihm den Raum für seine Briefe geben – und was würde er sagen wollen?

Dazu gäbe es drei Ansätze

1. Die Besinnung auf die Geschichte der Chemie als eine der großen Kulturleistungen der Menschheit,
2. die Dokumentation des Leistungsvermögens der Chemie durch Präsentation eindrucksvoller konkreter Beispiele sowie

3. die Diskussion der Fragestellungen und Herausforderungen, denen sich die Chemie als lebendige und selbstbewusste Wissenschaft in der Zukunft stellen sollte.

In dieser Abfolge möchte auch ich Ihnen gegenüber heute Position beziehen.

Zum ersten: Die Geschichte der Chemie

Die Geschichte der Chemie spiegelt eine der großen Kulturleistungen der Menschheit wider. Menschen aller Kontinente von Afrika über Asien und Europa bis zu Amerika haben dazu epochale Beiträge geleistet – das Stichwort „Globalisierung“ ist für die Chemie wahrhaft nicht neu. Die Chemie ist dabei allen Fragen zugewandt, die sich mit den Eigenschaften, der Zusammensetzung und Struktur sowie der Umwandlung von Stoffen befassen. Dabei dient die Analyse der Aufklärung von Zusammensetzungen und Strukturen, während die Synthese den Aufbau der Stoffe durch Zusammenfügen verschiedener Bausteine verfolgt.

In ihrer zehntausendjährigen Geschichte gab es Phasen unterschiedlicher Produktivität. Zu den frühen Phasen der Kulturgeschichte war es die anonyme Leistung von Völkern und Regionen, welche z. B. keramische und metallische Werkstoffe neu verfügbar machte: Ziegel, Kalk, Kupfer, Bronze, Eisen, Gold, Blei und schließlich ca. 1500 v. Chr. das Glas. Aber auch der gezielte Umgang mit organischen Naturstoffen gelang und führte zu Prozessen der alkoholischen Gärung, der Gerberei, des Färbens. Damit eilte die Beherrschung eigentlich komplexer Prozesse der Stoffumwandlung der Einsicht in die stofflichen Zusammenhänge und den Prozessverlauf weit voraus – ein Sachverhalt, der die Entwicklung der Chemie als vorwiegend empirische Wissenschaft entlang ihres Lebensweges bis heute prägt:

- Der Entdeckung des Benzols durch Faraday 1825 folgte erst 1865 der Strukturvorschlag von Kekulé: das Molekül als Ring, ein konzeptioneller Durchbruch zur modernen organischen Chemie
- Der ersten industriellen Produktion von Kunststoffen 1846 (Nitrozellulose) folgte erst 1926 die Erkenntnis der Existenz makromolekularer Stoffe

Den großen griechischen Denkern Leukipp und Demokrit (ca. 450 v. C.) verdanken wir die ersten frühen Beiträge zum Verständnis der Struktur der Materie im Sinne einer Atomtheorie. Wenn auch durch die vier Begriffe Wasser, Luft, Erde, Feuer vorerst falsch besetzt, wurde doch durch Empedokles und Aristoteles das Konzept der Elemente als Grundbausteine der stofflichen Welt geschaffen (350 v. C.). Für fast 2000 Jahre versank dann die wissenschaftliche Chemie im Dunkel der Mystik und Scharlatanerie der Alchemie, der wir allerdings auch manche stofflichen Entdeckungen – wie die Existenz von Säuren und Laugen, den Umgang mit Stoffen in Retorten und Tiegeln sowie mit der Destillation eine durchaus nützliche Technik und die Entdeckung des reinen Alkohols – verdanken.

Im 17. Jahrhundert finden wir endlich den Aufbruch in die wissenschaftliche Chemie der Neuzeit mit der Wiederbelebung der Atom- und Element-Konzepte durch Boyle und Newton. Im 18. Jahrhundert gelang vor allem erstmals die Herstellung von Elementen wie Schwefel (Scheele 1771), Sauerstoff (Rustley), Stickstoff (Rutherford 1772), Wasserstoff

(Cavendish 1778), die ersten einfachen Synthesen – bezeichnenderweise H_2O aus $\text{H}_2 + \text{O}_2$ – sowie durch Lavoisier der Einstieg in die quantitative Analyse und die Aufklärung des Verbrennungsprozesses (1783) – fast 100 Jahre nach Formulierung der Phlogiston-Theorie (1697).

Das Verständnis über Aufbau und Reaktionen der anorganischen und organischen Materie entwickelt sich im 19. Jahrhundert explosionsartig. Hierzu gehören die Beiträge von Dalton, Berzelius, Kekulé, Frankland, van't Hoff und LeBell zu Konzepten der Bindungsstruktur, des sequentiellen und räumlichen Aufbaus von Molekülen (Stereochemie), zur Isomerie etc. sowie auch die Ordnung der Elemente im Periodischen System (1869) durch Meyer und Mendelejew.

Parallel entwickelt sich eine immer anspruchsvoller werdende Synthese-Chemie, für welche Namen wie Wöhler, A.W. Hofmann, Kolbe, Perkin, Liebig, A. v. Baeyer stellvertretend genannt seien. Historisch besonders bemerkenswert scheint mir der Beitrag von Wöhler, dem es 1828 gelang, den organischen Stoff Harnstoff durch thermo-chemische Umwandlung aus einem anorganischen Stoff – dem Ammoniumcyanat – zu gewinnen, und damit die lange gesuchte Brücke zwischen einer anorganischen und einer organischen stofflichen Welt zu schlagen: Es bedurfte also keiner speziellen „Lebenskraft“, um organische Stoffe zu synthetisieren – und es war bewiesen, dass Struktur und Eigenschaft eines Stoffes unabhängig vom Syntheseweg sind.

Am Beginn des 20. Jahrhunderts angekommen, registrieren wir eine Chemie, die sich in Wissenschaft und Wirtschaft in vollster Blüte befindet und 1901 durch den 1. Nobelpreis für Chemie an den in Berlin lehrenden Holländer van't Hoff geadelt wird. Und dann gab es weitere bahnbrechende, teilweise revolutionäre Impulse, die für die Chemie des 20. Jahrhunderts bestimmend werden sollten:

- An erster Stelle steht die Entwicklung neuer, bis heute im wesentlichen gültiger Vorstellungen zum Aufbau der Atome und Moleküle, welche wir Rutherford und Bohr – der von Planck und Einstein geschaffenen Quantenphysik folgend – verdanken. Dies war der entscheidende Durchbruch zur modernen theoretischen Chemie.
- Zum zweiten verbinden wir mit dem Namen Ernst Fischer und seinen Arbeiten zur Chemie der Eiweiße und Kohlenhydrate den Aufbruch in die Chemie komplexer Naturstoffe, welche in der Folge der Jahre durch viele brillante Beiträge zur Aufklärung der Struktur und zur Totalsynthese das Bild der Chemie bis heute stark geprägt hat.
- Zum dritten verdanken wir Hermann Staudinger die Pionierarbeiten, mit denen er gegen den heftigsten Widerstand prominenter Zeitgenossen die Existenz makromolekularer (Natur)-Stoffe beweisen konnte. Damit war der Weg frei für den Siegeszug der synthetischen Kunststoffe, die aus unserer privaten und technischen Welt nicht mehr fortzudenken sind.
- Zum vierten hat das 20. Jahrhundert unsere Kenntnis vom Aufbau der Materie, gespiegelt an der Kenntnis der Welt der Atome, in zweifacher Weise fundamental erweitert: Zum einen gelang es – allen voran Glenn Seaborg – das periodische Sy-

stem der Elemente über das Uran (Nr. 92) hinaus auch durch gezielte Synthesen zu erweitern, inzwischen wurde das Element Nr. 118 synthetisiert. Zum anderen wurde mit der Entdeckung der Kernspaltung des Urans durch Hahn, Strassmann und Meitner eine Entwicklung eingeleitet, die wie keine andere die Ambivalenz naturwissenschaftlicher Entdeckungen in ihrer Auswirkung auf die Welt dokumentiert.

- Schließlich, und das zum fünften, erhielt die Entwicklung der industriellen Chemie neue Schubkraft durch epochale Beiträge zur chemischen Katalyse, welche durch die Namen

Haber und Bosch
Fischer und Tropsch sowie
Ziegler und Natta

in der Chemiegeschichte verankert sind.

Weil er auch der erste Träger der Gauß-Medaille der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft im Jahr 1949 war, sollten wir das Lebenswerk von Walter Reppe an dieser Stelle nicht vergessen.

Wenn ich damit die Aufzählung von Beispielen zu Fortschritten der Chemie im 20. Jahrhundert und damit das Kapitel *Geschichte der Chemie* beende, so tue ich dies in dem Bewusstsein der zwangsläufigen Unvollständigkeit und damit auch Ungerechtigkeit, die mit einer derartigen Verdichtung einer reichen und wechsellvollen Geschichte auf wenige Minuten verbunden sein muss. Dennoch hoffe ich, dass wesentliche Tatsachen, Strömungen, Konzepte und Erfolge allgemeinverständlich vermittelt wurden und ein faires Bild davon geben, wie Chemie das wurde, was sie heute ist.

Zum zweiten: Die Chemie im Lichte ihrer Leistungen

Eine andere Art, das Wesen der Chemie verständlich zu machen, besteht darin, einige ausgewählte Fakten zu beleuchten und über die Summe der Glanzlichter – gewissermaßen mosaikartig – ein Gesamtbild zu erzeugen. Begleiten Sie mich bitte auf diese kurze Reise durch die Chemie von „A“ (wie Aspirin) bis „Z“ (wie Zucker).

- (A) **Aspirin** ist das bekannteste und am häufigsten verwendete Medikament der Welt überhaupt. Die Liste der behandelten Erkrankungen umfasst nicht nur Kopf- und Zahnschmerzen, Fieber und Erkältung, sondern auch Rheuma, Herzinfarkt und Schlaganfall. Der von Dr. Felix Hoffmann bei den Farbenfabriken Bayer gefundene Wirkstoff Acetyl-Salicylsäure feierte 1991 seinen 100. Geburtstag: ein Rekord ohnegleichen.
- (A) **Analytik** ist seit jeher eine der Kernkompetenzen der Chemie. Mit ihrer Trennschärfe und ihrer Genauigkeit steht und fällt die Bewertung eines chemischen Experiments.

Auf der Basis optischer (RasterTunnelMikroskop) oder Laser-induzierter Fluoreszenz-Verfahren ist es inzwischen möglich, einzelne Moleküle bzw. Atome zu detektieren. Genauer geht es nicht mehr!

- (D) Düngemittel** sichern die Ernährung der Welt, und Stickstoff, aus der Luft durch Ammoniak-Synthese nach Haber-Bosch fixiert, ist zu 70 % der essentielle Nährstoff. Bei 140 Mio. t Gesamtprodukten (N, P, K) bedeuten dies allein ≈ 100 Mio. t NH_3 /Jahr.

1 kg NH_3 reicht zur Produktion von 12 kg Getreide, 1 kg NH_3 erfordert 1 l Erdöl, mit 1 l Erdöl fährt ein Mittelklassewagen 12 km.

- (E) Elektronik** verlangt nach immer neuen Werkstoffen und stößt auf dem Weg der Miniaturisierung zu immer kleineren Einheiten, schließlich einzelnen Molekülen vor: Molekulare Elektronik, d. h. in einem Einzelmolekül realisierte Schaltelemente, wären die Grenze des Erreichbaren. Mit molekularen Drähten aus Kohlenstoff (sog. Nanotubes) und Einzelmolekül-Magneten (deren Magnetismus auf der hohen Zahl ungepaarter Elektronen beruht) sind wichtige Bausteine für diesen Weg verfügbar.

- (F) Farbstoffe** besaßen für die Menschen aller Kulturen eine besondere Faszination: Ultramarin, Purpur, Indigo.

Indigo, vor 5000 Jahren in Indien entdeckt, ist noch heute mit 15.000 t einer der meist verkauften Farbstoffe der Welt – die Blue Jeans fordern ihr Tribut.

Adolf von Bayer gelang 1883 die Strukturaufklärung und 1880 eine Patentanmeldung, den Wettlauf um die erste wirtschaftlich tragfähige Produktion gewann jedoch die BASF 1887.

- (G) Gifte** sind nicht nur die Essenz vieler Kriminalromane, sie stellen gegebenenfalls echte Gefahren, manchmal aber auch nützliche Wirkstoffe dar.

Auch wenn die Chemie den Ruf der „Giftküche“ besitzt, ist sie der Natur weit unterlegen.

An der Spitze der Giftigkeit mit der geringsten letalen Dosierung stehen bei weitem die bakteriellen und tierischen Toxine – Tetanus-Bakterien und Kugelfisch sind die Quelle.

Die Dosis der pflanzlichen (Strychnin) und Pilzgifte (Muscartin) liegt um 3 bis 6 Größenordnungen höher.

Das stärkste Chemie-Gift „Dioxin“ liegt in eben diesem Bereich und zum Zyanalkali sind es noch einmal 3 Größenordnungen. Das „berühmte“ E 605 als synthetisches Chemieprodukt liegt nur im vorderen Feld der pflanzlichen Gifte, aber unterhalb der meisten Pilzgifte.

- (K) Kohlenstoff**, bei weitem das wichtigste Element unserer belebten Welt, existiert inzwischen in 3 Modifikationen: klassischerweise bekannt sind Diamant und Graphit – die gleichzeitig das härteste und das weichste Element unseres Periodensystems repräsentieren.

Mit dem Fulleren C_{60} – 60 C-Atome bilden ein Molekül in Kugelform – wurde 1985 eine neue Modifikation entdeckt, die enorme Potenziale, vor allem in der Materialwissenschaft besitzt.

- (K) **Katalyse** ist der Schlüssel zur Beschleunigung und Lenkung der überwiegenden Zahl aller chemischen Reaktionen, sowohl im Laboratorium, ganz dominant in der Industrie. Selektivität und Produktivität sind die Kennworte, wenn es um die Beurteilung ihrer Leistungsfähigkeit geht.

Der Chemie-Nobelpreis 2001 an Sharpless, Noyori und Knowles würdigte deren bahnbrechende Leistung in der Entdeckung stereoselektiver Katalysatoren.

In der Polymersynthese (Polypropylen) gelang es Katalysatoren zu entwickeln, deren Produktivität bei 5 t Polymer pro 1 g Katalysator-Metall, und damit um 3 Größenordnungen oberhalb gängiger Ziegler-Natta-Katalysatoren liegt.

- (N) **Naturstoffe** sind nach wie vor eine unerlässliche Quelle für neue Wirkstoffe: die schnelle Strukturaufklärung und die Totalsynthese auch der komplexesten Strukturen beweisen das Leistungsvermögen der organischen Chemie. Naturstoff-Molekül des Jahres 2000 war das an der GBF in Braunschweig entdeckte Epothilon.

- (P) **Pflanzenschutzmittel** (d. h. Insektizide, Fungizide, Herbizide) dienen der Sicherung und Steigerung des Ertrags von Kulturpflanzen. Bei einem Gesamtumsatz weltweit von ca. 25 Mrd. US \$/Jahr entfallen interessanterweise ¼ auf den Bereich Früchte und Gemüse, weit vor Getreide, Reis und Mais mit jeweils 10 – 15 %.

Die Entwicklungskosten für ein neues Pflanzenschutzmittel sind in den Jahren 1985 bis 1995 von 120 auf 250 Mio. US \$ gestiegen: allein 100 Millionen entfallen auf Prüfungen zum Umweltschutz und zur Toxikologie: überholt der Umweltschutz den Pflanzenschutz? Entsprechend hoch sind die Anforderungen an die Syntheseleistungen der Chemie, diese Hürde überhaupt zu nehmen!

- (V) **Vitamine**, die Wirkstoffe des Lebens, waren für viele Jahre zentrale Objekte der chemischen Forschung. H. H. Inhoffen, der erste Präsident unserer Gesellschaft nach dem Krieg, war mit seinen Beiträgen zur Synthese von Vitamin B und Vitamin D ein hervorragender Repräsentant dieser Arbeitsrichtung. Heute sind 13 Vitamine bekannt, und mit Ausnahme des Vitamin B₁₂ konnten die Chemiker insgesamt wirtschaftlich tragfähige chemische Synthesen etablieren

Vitamin C mit 60.000 t/Jahr ist eindeutiger Marktführer – und verführt offensichtlich auch zu bußgeldträchtigen Preisabsprachen!

- (Z) **Zucker** ist bei einer Produktion von 120 Mio. t/Jahr eines der größten, nach der Kristallisation reinsten und mit einem Preis von 1,00 DM/kg auch billigsten Chemieprodukte der Natur. Unabhängig von seiner Bedeutung in der Ernährung gewinnt Zucker auch an Bedeutung als Rohstoff für die chemische Industrie: Ersatz von Erdöl durch „Nachwachsende Rohstoffe“ ist das Motto, um auf diese Weise die CO₂-Bilanz der Atmosphäre zu verbessern. Neue Waschmittel – Alkylpolyglycoside – die aus Zucker und Kokosöl gewonnen werden und auch biologisch abbaubar sind, stellen ein aktuelles Beispiel dieser „nachhaltigen Chemie“ dar.

Zum Dritten: Fragestellung einer Chemie mit Zukunft

1. Wie wurde Chemie? 2. Was ist Chemie und nun: Was wird aus der Chemie? Dieser
3. Frage wollen wir uns nun abschließend zuwenden.

Dabei geht es nicht um die Frage, ob sich Problemstellungen chemischer Natur in Analytik und Synthese etwa erledigt haben, hier gibt es im Prinzip weiterhin beliebig viel zu tun. Es geht – sagen wir „lediglich“ – um die Frage, ob die Chemie als selbstbewusste Wissenschaftsdisziplin ihre Schwungkraft, Ausstrahlung und Eigenständigkeit bewahrt oder sich langfristig in einer Fremdbestimmung durch Biologie (vor allem in Fragestellungen der Medizin) oder durch die Physik (vor allem in Fragestellungen der Materialwissenschaft) als hochgeschätzter, aber dienstleistender Juniorpartner wiederfindet.

Das mag kurzfristig nur als organisatorische Variante erscheinen, ist aber m. E. langfristig von erheblicher Bedeutung für unsere Fähigkeit, mit den Problemen der stofflichen Welt, ihrer Strukturen und den Prozessen ihrer Veränderungen kreativ und ergebnisoffen umzugehen.

Die Eigenständigkeit einer Disziplin beruht auf der Fähigkeit, originelle Themen zu definieren und zu bearbeiten, die für das Selbstverständnis und die Zukunftsfähigkeit von fundamentaler Bedeutung und inhärent dieser Disziplin zuzuordnen sind. Die Physik z. B. hat m. E. bislang am überzeugendsten bewiesen, wie man mit dieser Problematik erfolgreich umgeht und auf diese Weise enorme – auch finanzielle Potenziale – für die Grundlagenforschung, z. B. in der Teilchen- und Astrophysik mobilisiert, dabei aber die Anwendung nicht aus den Augen verliert.

Worin könnten also z. B. derartige Fragen im Bereich einer Chemie mit Zukunft bestehen? In meiner persönlichen Einschätzung sind dies u. a. die folgenden.

1. Die chemische Bindung
2. Das Geheimnis der Katalyse
3. Nicht-kovalente Wechselwirkungen
4. Chemie und Nachhaltigkeit

Dazu kurz einige Erläuterungen.

1. Die chemische Bindung liefert den Schlüssel zum Verständnis des Aufbaus der Moleküle aus den Atomen und zur Stabilität der so gewonnenen Struktur. Die Ansätze, derartige Bindungen ohne Kenntnis experimenteller Daten, d. h. ab initio auf quantenmechanischer Grundlage bezüglich ihrer Stärke und Länge zu berechnen, sind bisher bei sehr kleinen Molekülen stecken geblieben. So ist der Chemiker in der Realität weitgehend auf semi-empirische Methoden angewiesen, die vieles, was existiert, erklären können, aber verlässliche Voraussagen ins Neuland nicht liefern können. So ist auch heute die chemische Literatur voll von überraschenden Befunden zur Existenz von Bindungen, ihrer Bindungslänge, der Koordinationszahl etc. Das mag zwar sehr lebendig erscheinen, ist aber auf Dauer kein wissenschaftlicher Zustand. In dieser Frage eine solide und breiter anwendbare theoretische Basis zu schaffen, ist für mich eine Kardinalfrage der Chemie. Dies gilt im übrigen in noch stärkerem Maße für die Probleme der Kinetik chemischer Reaktionen.

2. In der Praxis der chemischen Synthese sehen die Reaktionsgleichungen häufig sehr einfach aus, in Wahrheit bedarf es sehr häufig des Einsatzes eines Katalysators, der definitionsgemäß in der den Umsatz beschreibenden Gleichung nicht auftritt, für die Richtung und Geschwindigkeit der Reaktion aber von unverzichtbarer Bedeutung ist. Struktur und Wirkungsweise dieser Katalysatoren sind aber in der Regel so komplex, dass der wahre Reaktionsablauf ein Geheimnis bleibt. Die Suche nach neuen Katalysatoren ist daher – ebenso wie bei hochwirksamen Medikamenten – ein Glücksspiel, aufwändig an Zeit und Material und entsprechend selten erfolgreich. Bei manchen Ansätzen der Katalysatorforschung z. B. sogenannter „Kombinatorischer Chemie“ wird man eher an Alchemie als an Chemie erinnert. Grundlagenforschung in Theorie und Experiment, auch an praxisnahen Systemen, ist notwendig, um mehr Licht und Treffsicherheit in das Dunkel zu bringen, welches das Geheimnis der Katalyse einhüllt.
3. Die chemischen Prozesse finden – vom Weltraum abgesehen – nicht im luftleeren Raum statt, sondern in der Regel in Systemen mit hoher materieller Dichte, d. h. im Gasraum unter Druck oder in der Lösung oder Schmelze. Moleküle stehen somit, z. B. mit einem Lösungsmittel, in enger, aber unspezifischer, mit Reaktionspartnern in spezifischer Wechselwirkung. Diese nicht-kovalenten, d. h. schwachen Wechselwirkungen haben aber auf das Reaktionsgeschehen oft einen starken Einfluss. Dennoch sind Phänomene der Solvation, der Mischbarkeit, der Assoziation bis hin zur spezifischen Wirkung nur unzureichend erforscht. Die Supramolekulare Chemie nimmt sich inzwischen eines Teils dieser Fragestellungen mit Blick auf spezifische Wechselwirkungen mit Erfolg an, ein ähnlicher Impuls in Richtung der unspezifischen Wechselwirkungen wäre zu wünschen.
4. Das Stichwort „Chemie und Nachhaltigkeit“ klingt nach Politik, ist aber für eine Wissenschaft, die Ernst machen will und muss mit einer Verankerung in der Gesellschaft von großer Bedeutung. Es muss erkennbar werden, dass das, was die Chemie und die Chemiker wollen, mit den Anforderungen des Erhalts der Lebensgrundlagen für zukünftige Generationen in Einklang gebracht werden kann und dass gerade die Chemie essentielle Beiträge, z. B. zum Klimaschutz, zu leisten vermag.

Ein Rückblick auf die vier genannten Themen macht wohl auch dem weniger Eingeweihten klar, dass sich diese nicht an dem eingespielten Schema „Analytik oder Synthese“ bzw. der beliebten, aber in der Forschung schon überholten Klassifikation in „anorganische, organische, physikalische, technische Chemie etc.“ orientieren. Es handelt sich vielmehr um klassische Querschnittsfragen, für die alle Chemie-Bereiche zuständig sind. Aber eines wird m. E. deutlich, dass sich die Chemie verstärkt um ihre theoretische Basis bemühen muss, um letztlich dem Anspruch gerecht zu werden, zu den exakten Naturwissenschaften zu gehören und den Gesetzmäßigkeiten des Verhaltens und der Umwandlung der Stoffe auf der Spur zu sein. Dies ist gleichermaßen ein starkes Plädoyer für eine Grundlagenforschung, die nicht am Erfolg des Technologie-Transfers oder der Unternehmens-Ausgründung gemessen wird, sondern am Wissensfortschritt per se.

Ein derartiges starkes Engagement in einer eigenständigen, auf die Fortentwicklung der eigenen Wissenschaft in ihren Fundamenten ausgerichteten Grundlagenforschung schließt den Schritt zur angewandten Forschung in gleichberechtigter Kooperation mit Partnern der Biologie und Medizin, der Physik und den Ingenieurwissenschaften sowie der chemischen Industrie – wie immer sie organisiert sein mag – nicht aus.

Eine in ihrer grundlegenden Kompetenz gestärkte Chemie wird sogar ein besserer Partner sein, um die anspruchsvollen Ziele der Anwendung am Menschen und in der Technik gemeinsam zu erreichen.

In der Frage, wie es möglich wäre, der Chemie zu einem Anschub in Theoretisierung zu verhelfen, können wir vielleicht von der Biologie lernen: Im Sog, oder besser im Rausch der Erfolge des Human Genom Projects hat die Bundesregierung ein millionenschweres Programm etabliert, um an mehreren Hochschulen gleichzeitig neue Studiengänge und Fachzentren „Bioinformatik“ einzurichten und gleichzeitig jeweils mehrere Professorenstellen auszubringen. Sieht man von den Problemen ab, dass es neben einer äußerst lückenhaften Definition des Begriffs „Bioinformatik“ noch wenig einschlägig ausgewiesene Bioinformatiker gibt, ist dies doch eine einmalige Chance für die Biologie, eine theoretische Basis zu erhalten.

Angesichts des enormen Faktenwissens, das sich in der Chemie über die Jahrzehnte angesammelt hat, wäre vielleicht zum einen auch der Ruf nach einer „Chemie-Informatik“ kein untauglicher Ansatz. Zum anderen sollte eine verstärkte Kooperation mit der theoretischen Physik wichtige Impulse vermitteln können. Letzten Endes dürfen sich die Chemiker, ähnlich wie die Physiker und Elektrotechniker, aber nicht zu schade sein, sich mit mathematisch anspruchsvollen, theoretischen Methoden zu befassen. Vielleicht schlägt der Computer dabei geeignete Brücken.

Mit Blick auf meine Titelfrage

„Chemie ist Leben – (über)lebt die Chemie?“

möchte ich in geringer Abwandlung die oben zitierten Worte von Justus von Liebig aus dem Jahr 1844 zu meinen eigenen machen: Möchte es mir mit diesem Vortrag gelungen sein, „die Überzeugung zu befestigen, daß die Chemie als selbständige Wissenschaft eines der mächtigsten Mittel zu einer höheren Geisteskultur darbietet, daß ihr Studium nützlich ist, nicht nur insofern sie die materiellen Interessen der Menschen fördert, sondern weil sie Einsicht gewährt in die Wunder der Schöpfung, welche uns unmittelbar umgeben, an die unser Dasein, Bestehen und unsere Entwicklung aufs engste geknüpft sind.“

Das zum „Jahr der Chemie“ gekürte Jahr 2003 wäre dann eine Gelegenheit, eine derartige Botschaft auch in die Öffentlichkeit zu tragen.

Dabei muss es allerdings um mehr gehen, als auf das schöne Motto „Chemie ist Leben“ als Abbild einer heilen Welt zu bauen.

Das „Jahr der Chemie“ bietet vielmehr die Chance, dass sich die Chemiker – auf dem Weg zur Präsentation ihrer Sache in der Öffentlichkeit – auch ihrer eigenen Position entsinnen und ihre Zukunft reflektieren.

Dann sollte es ihnen gelingen, nicht nur fertige Problemlösungen zu „verkaufen“, sondern das Problembewusstsein zu vermitteln, 1. dass die Chemie im naturwissenschaftlichen Bildungskanon ihren festen Platz haben muss und 2. dass es auch in Zukunft wissenschaftliche und technische Fragestellungen geben wird, bei denen auf Antworten aus der Chemie nicht verzichtet werden kann.

„Chemie ist Leben“ ist kein schlechtes Motto
– aber wichtiger ist, dass die Chemie lebt –
auch in Zukunft.

Prof. Dr.rer.nat. Joachim Klein
Präsident der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft
Hühnerkamp 21 · D-38104 Braunschweig

EVA JOHANNA ENGEL HOLLAND, Wolfenbüttel

Moses Mendelssohn, Polyhistor und Wegbereiter (1728-1786)

Braunschweig, 08.03.2002*

“Außerordentliche Männer thun selten, was Jedermann von ihnen erwartet – denn sie sind außerordentliche Männer”.¹

Auf kaum einen anderen Mann seiner Tage trifft dieser Ausspruch genauer zu, als auf diesen “Sokrates des 18. Jahrhunderts”, der in seinen relativ kurzen 57 Jahren, trotz aller Hindernisse, uns eine so reiche Erbschaft hinterlassen hat, dass seine Schriften allein 34 Bände füllen. Entstanden sind sie, neben seiner täglichen Brottätigkeit als Geschäftsführer einer Seidenmanufaktur, in den frühen Morgenstunden von 5 bis 8 Uhr.

Nicht nur in Nekrologen gibt es unzählige Zeugnisse der Bewunderung, die dieser – von der Natur misshandelte – winzige Mensch seinen Zeitgenossen einflößte. Eins der ausdrucksvollsten stammt von dem Schweizer Mediziner Johann Georg, Ritter von Zimmermann. – Seiner Ansicht nach war die Körperstatur großer wohlgewachsener Männer ihm nicht massgeblich für deren geistige Qualität:

Hingegen [...] hebe ich oft bey/ dem Anblick der Bildnisse/ eines Esopus und eines Pope/ meine Augen mit Erstaunung/ und Anbetung zu dem grossen/ Urheber der Natur auf, der/ meines Erachtens/ in den elendesten und unter uns/ Thoren verachtetesten Leib eine göttliche Seele geradezu seiner/ Schöpfung zur Zierde legt.

Eine ganz Esopische Gestalt hat/ der Jude, Schriftsteller und Kaufmann Moses Mendelssohn/ in Berlin, der so tief als/ Leibniz sieht, so gross als Pla/ton denkt, so witzig als Pope/ redt, so schön als Addison/ schreibt, und so fromm als/ Boerhaave lebt.²

Dieser Mensch “esopischer Gestalt” war 1743, in seinem 14. Jahr, zu Fuß von Dessau seinem zum Oberrabbiner ernannten Lehrer nach Berlin gefolgt, um mit seiner Hilfe dort weiter zu lernen, um seinen Wissensdrang in weiteren Bahnen zu stillen.

Der Zeitpunkt war günstig, denn seit 1691 war die Bevölkerung durch hugenottische Flüchtlinge, durch deren religiöse Toleranz, durch ihre Sprache, ihre intellektuellen Interessen, durch ihre Mitgliedschaft in der Kgl. Akademie der Wissenschaften und der Belletristik wesentlich bereichert worden. Nun hatte Moses aus Dessau vor 1743 zwar das Hauptwerk des berühmten Maimonides studiert, konnte aber nur westjiddisch und hebräisch lesen und schreiben. So eröffneten sich ihm ungeahnte Möglichkeiten an europäischem Wissen in Sprachen, in Mathematik, in Naturwissenschaften, in europäischer und antiker Literatur und Philosophie, die es galt, kennenzulernen und auszuschöpfen.

* Vortrag gehalten vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.

¹ Dies bezog sich auf Joseph II. (*Moses Mendelssohn Gesammelte Schriften* (=JubA), Bd. 13, S. 233) am 20. November 1784.

² In: “Von der Diät [= Lebensweise] für die Seele”, Hannover 1995, S. 52. Hrsg. U. Benzenhöfer / G. vom Bruch nach der Hs. in der Ns. Landesbibliothek Hannover, XLII, 1933, B 11 (108 Blatt), hier 12v-13r.

Wie er das in den ersten Hungerjahren schaffte, bleibt ein Rätsel. Tatsache aber ist, dass er 1747 bereits so viel Französisch und Latein konnte³, dass er in Begleitung von Louis de Beausobre, Sohn des Kgl. Hofpredigers, den auf lateinisch gehaltenen Vorlesungen des Rektors Heinius am Joachimsthalschen Gymnasium folgen konnte, dass er 1750 bereits 81 Verszeilen des englischen Dichter Edward Young ins Hebräische übertrug⁴, dass der angesehene Verleger C. F. Voss 1754 ihm, der erst seit zehn Jahren Deutsch gelernt hatte, auftrag, die erste deutsche Übersetzung von J. J. Rousseaus aufsehenerregender Schrift über *Die Ungleichheit der Menschen, und woher sie stamme* mit all ihren verbalen Schwierigkeiten zu übernehmen.

Im gleichen Jahr 1754 hatte Mendelssohn den jungen Lessing schon so beeindruckt, dass sie gemeinsam eine äußerst philosophisch fundierte Widerlegung der 1753 vom Präsidenten der Akademie gesetzten Fangfrage verfassten. Die Teilnehmer dieses Wettbewerbs sollten 1754 anonym ihre Beantwortungen vorlegen. Da die beiden Angreifer erwarteten, den ersten Preis zugesprochen zu bekommen und dadurch ihrer Anonymität beraubt zu werden, ließen sie das Werk mit all seiner verblüffenden Kenntnis der zeitgenössischen Metaphysik und Literatur als Buch drucken.

Vier Jahre früher, 1750, hatte Mendelssohn seine Laufbahn sowohl als Denker wie als Emanzipator der im deutschen Sprachraum lebenden Glaubensgenossen begonnen. Zu dem Versuch, einen 13jährigen Zögling wach am intellektuellen Leben der Gegenwart zu beteiligen und doch keineswegs seine religiöse Erbschaft aufzugeben, hatte er sich des damals beliebten didaktischen Mittels einer Wochenschrift bedient.

Nach dieser ersten Schrift auf hebräisch überstürzten sich von 1754 an Veröffentlichungen, deren Einfluss auf Lessing, Herder, Goethe, Schiller austrahlte, die von Descartes, Spinoza, Leibniz, Christian Wolff bis zu Baumgarten deren Gedanken analysierten, fortsetzten und dem ganz neuen Gebiet der Ästhetik wesentliche Bereicherung zuführten. Obwohl alle diese Schriften bis 1763 anonym erschienen waren, horchten in Berlin, Göttingen, Hannover, Zürich, Basel und Bern die Literati, die Philosophen, die Akademiker mit wachsender Ver- und Bewunderung auf das Phänomen eines, obwohl er Jude war, stilistisch vorzüglichen Metaphysikers, dem "zu einem zweiten Spinoza nichts fehle, als seine Irrtümer"⁵.

Mit seiner Anonymität war es weitgehend zu Ende, als er im Januar 1763 für seine "Abhandlung über die Evidenz in den metaphysischen Wissenschaften" den Preis der Akademie zugesprochen bekam.⁶

³ Griechisch lernte er mit Nicolai zusammen um 1757, und zwar gleich mit der Lektüre des Homer und Platon.

⁴ Von *The Complaint, or Night Thoughts of Life, Death and Immortality*, 1746, – gab es bis 1750 noch keine deutsche, italienische oder französische Übersetzung dieser ersten 81 Verszeilen.

⁵ Lessing 1755 an den Göttinger Orientalisten J. D. Michaelis.

⁶ Kant erhielt damals das "proxime accessit". Selbst zu diesem frühen Zeitpunkt befassten sich beide, unabhängig von einander, aber wohl im Gefolge von Newton, mit der Erkenntnis, dass es jenseits der Mathematik neue Welten zu ergründen gab. Es steht dahin, ob Mendelssohns Preisschrift gewissermaßen als erster Vorläufer von Kant/Markus Herz' Disputation "De mundi sensibilis atque intelligibilis forma et principio" vom August 1770 zu betrachten wäre.

– Zwischen 1754 und 1763 aber hatte Mendelssohn eine neue Doppelexistenz beginnen müssen, um nicht nur sich selbst, sondern nach Juni 1762 auch Frau und Familie zu erhalten. Als Buchhalter in der Manufaktur des prominentesten jüdischen Seidenherstellers hatte er 1754 begonnen, war bereits 1761 Geschäftsführer geworden. Bücher begleiteten ihn auch ins Kontor, aber selbst da blieb wenig Zeit zum Studium und gewiss keine Möglichkeit, Gedanken zu Papier zu bringen.

Und doch schrieb Mendelssohn zwischen den Preisschriften 1754 und 1763 (a) einen Vortrag über Wahrscheinlichkeit⁷, (b) 21 ausführliche literaturwissenschaftliche Artikel zwischen Sommer 1757 und Mai 1759 nach gemeinsamen Beratungen von Lessing, Nicolai und Mendelssohn, zur Förderung deutscher Sprache und Literaturtheorie in der *Bibliothek der schönen Wissenschaften und der freyen Künste*.

Von 1759 bis 1765 erschien des jungen Verlegers Nicolai zweites ehrgeiziges didaktisches Unternehmen, die *Briefe, die neueste Litteratur betreffend*. Von deren 333, freimütig jede Mittelmäßigkeit abkanzelnenden anonymen “Briefen”⁸ sind je 68 von Nicolai und dem erst 1738 geborenen Mathematiker Thomas Abbt, 54 von Lessing, 8 von anderen Literaten und (c) etwa 130 von Mendelssohn – von Herder, trotz ihrer Anonymität hochgelobte Beiträge zu einer Zeit, in der Berlin zweimal vom Feind eingenommen wurde, die Armut wuchs, und in der Mendelssohn den größten Teil jedes Tages sich um die Geschäftsführung zu kümmern hatte.

Gerade während des Siebenjährigen Krieges warb man 1762 in der Schweiz um anerkannte Größen wie Hume, Rousseau, Mendelssohn als Mitglieder eines ausgesprochen humanitären und demokratischen Vereins. So sehr diese Bitte ihn ehrte, lehnte Mendelssohn unter der Begründung ab: “Die bürgerliche Unterdrückung, zu welcher uns [Juden] ein zu sehr eingerissenes Vorurtheil verdammt, liegt wie eine todte Last auf den Schwingen des Geistes, und macht sie unfähig, den hohen Flug des Freygebohrnen jemals zu versuchen.”⁹

Aber er bot der Helvetischen Gesellschaft neben seiner Übersetzung von Platons *Politeia* das Werk an, das ihn schon lange beschäftigte, aber noch unvollendet war: *Phädon, oder über die Unsterblichkeit der Seele*. – Es ist nur zu verständlich, wie nahe der Tod in Kriegszeiten war, doch wir sahen, dass das Konzept der Unsterblichkeit bereits 1750 in der Schrift des damals 22jährigen zum Ausdruck kam (s. Anm. 4). – Als die Schrift 1767 erschien, wuchs Mendelssohns Ruhm als Denker europaweit. Für ihn war das Thema erst begonnen, denn: wenn die Seele unsterblich ist, muss sie unkörperlich sein, und wie kann man sich dann den “Kommerz” zwischen einer immateriellen Seele und dem Körper, zu dem sie gehört, vorstellen?

Der Ruhm brachte dem Autor Neider, und, auch von neuem, das Bemühen, Mendelssohn zum Christentum zu bekehren. Der unglücklichste, missverständlichste Versuch war

⁷ Vorgelesen wurde er 1756 innerhalb einer Versammlung der aus 100 Berliner Offizieren, Theologen, Dichtern, Mathematikern bestehenden geschlossenen Gesellschaft im sogenannten “Gelehrten Kaffeehaus”.

⁸ Nach Zeitgebrauch erschienen Artikel entweder unsigned oder mit Chiffren versehen. Erst nach Beendigung der *Litteraturbriefe* gab Nicolai dem Drängen Herders nach und entschlüsselte die Chiffren der beteiligten Verfasser.

⁹ JubA 11, S. 326.

der des Theologiekandidaten Lavater, der ihn 1769 durch einen offenen Brief zu zwingen suchte, die Wahrheit des Christentums durch Apostasie öffentlich zu bekennen. Mendelssohns Stellungnahme war offen und ehrlich, führte aber 1770 zu einer ernsthaften Schädigung seiner Gesundheit und einer bewussten Wendung zu biblischen und religiösen Themen, einer Verteidigung des Jude-seins, und durch Erziehung sowohl bewusst Jude zu bleiben wie Bürger des Staats zu werden, in dem sie aufgewachsen waren.

So entstand 1770 sein hebräischer Kommentar zu Ecclesiastes¹⁰; 1776 seine Beiträge zum *Lesebuch für jüdische Kinder*; vor 1778, auf Wunsch der preußischen Regierung, sein Beitrag zum Codex Fridricianus in Gestalt seiner Formulierung des sogenannten 'Juden-eids' und seine Übersetzung der *Ritualgesetze der Juden*; von 1778-1783 entstand eine Wiederholung der Tat Luthers: die Übertragung des Pentateuch, um für Juden eine verlässliche deutsche, genaue Fassung des Alten Testaments zu geben. Zur weiteren Verteidigung der Rechte der Juden bringt Mendelssohn 1782 die Übersetzung der von Menasse b. Israel an Oliver Cromwell gerichteten *Vindictio Judaearum*. 1783 erschien sein *Jerusalem, oder über religiöse Macht und Judentum*, in der er – wie nach ihm Jefferson für die Amerikaner – eine Trennung der Rechte von Staat und Kirche forderte.

Zur eigenen Stärkung setzte er die vor Jahrzehnten begonnene, 1783 veröffentlichte Übertragung aller 150 Psalmen fort, die gleich unter evangelischen wie katholischen Komponisten Vertonungen hervorriefen. Als letztes Vermächtnis für seine Kinder untersuchte er in den *Morgenstunden* das *Daseyn Gottes*. Sein postum erschienenes *An die Freunde Lessings* gilt der Ehrenrettung des lebenslangen Freundes (1786) und bringt Mendelssohns Auseinandersetzung mit F. H. Jacobis Ansichten über die Lehre des Spinoza.

Diese gewaltige geistige Leistung eines nach 1770 stets kränkelnden Mannes entstand parallel zu vielen Briefen intellektueller Belange, Bittschriften zu Hilferufen seitens jüdischer Gemeinden in Dresden, Schwerin und Langnau, und vornehmlich neben stets wachsenden Anforderungen im Berufsleben. Denn nach dem Tod des Besitzers (1768) war Mendelssohn der Verwalter eines Geschäfts, das mit 90 Firmen in 5 europäischen Ländern Beziehungen unterhielt, und einer Industrie, die er in Preußen um viele Verbesserungen bereicherte.

Seine philosophischen und literaturwissenschaftlichen Verdienste im deutschen Geistesleben spiegeln sich in den bisher veröffentlichten 30 Bänden der "Jubiläumsausgabe". Seine Beiträge zur Algebra, zu Euklid, wie seine Leistung im merkantilen Erstarken Preußens stehen bisher noch aus.

¹⁰ In *Ecclesiastes*, Kap. 12, Vers 6 ersetzte er das biblische Gleichnis des plötzlichen Todes durch wörtliche Übersetzung von W. Harveys Erklärung der Blutzirkulation: es ist nicht der Strick am Brunnen, der zerreißt, so dass der Eimer zerschellt und das Rad zerbrochen in den Brunnen fällt, sondern das Versagen des Herzens, das alles im Menschen zum Stillstand verdammt.

HERBERT WELLING, Hannover

Der Gravitationswellendetektor GEO 600

An der Schwelle zur Gravitationswellen-Astronomie

Braunschweig, 31.05.2002*

Gravitationswellen sind eine Konsequenz der Allgemeinen Relativitätstheorie, der Gravitationstheorie Albert Einsteins von 1915. Nach Einsteins Ansicht wird der physikalische Raum durch Massen verformt. Die dadurch erzeugte Krümmung des Raums bestimmt die Bewegung anderer Massen und wirkt so als Gravitations„kraft“. Bewegen sich Massen beschleunigt in der Raumzeit, so breiten sich die dadurch hervorgerufenen Änderungen in der Raumkrümmung mit Lichtgeschwindigkeit wellenförmig nach allen Seiten aus. Bei diesen Gravitationswellen handelt es sich um Transversalwellen, die in zwei verschiedenen Schwingungsformen auftreten. Die möglichen Frequenzen liegen im Bereich von 10^{-17} bis 10^4 Hz. Da die Effekte der Allgemeinen Relativitätstheorie sehr klein sind, erzeugen nur sehr große Massen mit sehr großen Beschleunigungen meßbare Gravitationswellenamplituden. Als mögliche Quellen kommen daher nur astrophysikalische Objekte oder Ereignisse in Frage (z.B. Binärsystem aus Schwarzen Löchern und Neutronensternen oder Supernovae).

Die Wirkung dieser Wellen äußert sich als eine Verzerrung der Raumzeit, als abwechselnde Dehnung und Stauchung des Raums und von allem, was sich darin befindet. Bei zwei senkrecht auf einander stehenden Meßstrecken führt dies zu einer unterschiedlichen Längenänderung. Das sollte sich mit einem Michelson-Interferometer leicht nachweisen lassen. Das Problem für den Experimentalphysiker besteht darin, daß die Längenänderungen extrem klein sind. Eine Supernova-Explosion in einer benachbarten Galaxie ändert beispielsweise die Länge einer 1 km langen Teststrecke auf der Erde nur um ein Tausendstel eines Protonendurchmessers, für einige Millisekunden. Seit mehr als 30 Jahren versucht man, Gravitationswellen nachzuweisen, aber erst heute besitzen wir die notwendige empfindliche Lasermesstechnik zum Nachweis so kleiner Längenänderungen.

Beim Einsatz von Laserinterferometern für den Gravitationswellennachweis treten viele Störungen auf, die zu Schwankungen in der Lichtwegdifferenz zwischen den beiden Armen führen und dadurch ein Signal vortäuschen. Naheliegende Störquellen sind Bodenerschütterungen aller Art, die Wärmebewegung der Luft und der optischen Komponenten, aber auch die durch das Meßverfahren erzeugten Schwankungen wie Schrotrauschen und Strahlungsdruckrauschen. Um die erforderliche Empfindlichkeit zu erreichen, müssen diese Störquellen hinreichend abgeschwächt oder in einen Frequenzbereich außerhalb des Meßfensters (20 Hz bis 2 kHz) verschoben werden. Dazu mußte eine Reihe technischer

* Kurzfassung eines Vortrags gehalten vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.

Verbesserungen und Neuentwicklungen durchgeführt werden, da die Anforderungen den vorhandenen Standard auf fast allen Gebieten überstiegen.

GEO 600 ist ein Gemeinschaftsprojekt deutscher und britischer Forschergruppen. Es handelt sich dabei um ein Michelson-Interferometer mit 600 m Armlänge, das ab September 1995 auf dem Gelände der Universität Hannover in Ruthe südlich von Hannover errichtet wurde. Federführend sind Wissenschaftler aus Garching, Hannover, Glasgow, Cardiff und Golm (bei Potsdam). Alle optischen Aufbauten sind in großen Vakuumtanks untergebracht. Die Meßstrecken selbst verlaufen in evakuierten Edelstahlrohren mit einem Durchmesser von 60 cm. Das Vakuum ist besser als 10^{-11} bar (Ultrahochvakuum).

Eine besondere Herausforderung stellte die Entwicklung eines geeigneten Lasers für GEO 600 dar. Laser für Gravitationswellendetektoren müssen nicht nur besonders leistungsstark sein, sondern auch extrem stabil bezüglich Frequenz, Amplitude und geometrischer Verteilung des Lichts und monatelang stabil im Dauerbetrieb arbeiten. Zusammen mit dem Laser Zentrum Hannover wurde in den letzten Jahren ein Laser mit einer Ausgangsleistung von 17 W Dauerleistung auf der Basis eines diodengepumpten Nd:YAG-Lasersystems bei einer Wellenlänge von 1064 nm entwickelt. Da die optimale Lichtleistung für GEO 600 aber im Kilowatt-Bereich liegt, mußte eine Möglichkeit gefunden werden, die umlaufende Lichtleistung im Detektor zu erhöhen. Das Interferometer arbeitet mit einer Nullmethode: Durch Regelkreise wird der Ausgang dunkel gehalten. Das bedeutet, daß das Laserlicht nach dem Durchlaufen der Arme zurück zum Eingang gelenkt wird. Durch einen zusätzlichen Spiegel, der mit dem Interferometer einen Resonator bildet, kann dieses Licht erneut in die Arme eingespeist und phasenrichtig mit dem einfallenden Licht überlagert werden („Power-Recycling“). GEO 600 kann auf diese Weise effektiv mit 10 kW arbeiten. Das „Signal-Recycling“ sorgt mit einer ähnlichen Methode für die Überhöhung des Signals.

Seit 1995 hat man weltweit mit dem Bau von großen Laserinterferometern zum Gravitationswellennachweis begonnen. Im Rahmen des US-amerikanischen Projekts LIGO wurden Detektoren mit 4 km langen Armen gleich an zwei Standorten errichtet, einer im Nordwesten der USA (Washington) und einer im Südosten (Louisiana). In der Nähe von Pisa entsteht das französisch-italienische Projekt VIRGO mit 3 km Armlänge; mit der Fertigstellung ist für 2003 zu rechnen. Alle Detektoren setzen Nd:YAG-Laser bei einer Wellenlänge von 1064 nm mit Power-Recycling ein. Trotz seiner kürzeren Armlänge erreicht GEO 600 etwa die gleiche Empfindlichkeit wie die großen Detektoren, da es im Unterschied zu ihnen bereits in der ersten Ausbaustufe die in den letzten Jahren entwickelten fortschrittlichen Technologien nutzt. Signal-Recycling, monolithische Spiegel-aufhängung und die Möglichkeit, den Detektor abzustimmen, werden bisher einzig bei GEO 600 eingesetzt.

Die verschiedenen Projekte stehen nicht etwa in Konkurrenz miteinander, sie sind auf Zusammenarbeit angewiesen. Erst in Koinzidenz mit einem weit entfernten Detektor kann man sicher sein, keinen lokalen Störungen aufgesessen zu sein. Um aber auch Informationen über die Richtung der Quelle sowie über die Polarisierung der Signale zu erhalten, benötigt man ein weltweites Netz von wenigstens vier Detektoren. Daher haben die verschiedenen Stationen den Austausch und die gemeinsame Auswertung der Daten verein-

bart. Besonders eng ist die Zusammenarbeit zwischen GEO 600 und LIGO. Beide Gruppen werden die Daten nicht nur gemeinsam analysieren, sondern die Ergebnisse auch gemeinsam veröffentlichen. Von Ende Dezember 2001 bis Mitte Januar 2002 fand ein paralleler Probelauf beider Detektoren statt, in dem erfolgreich die Systemstabilität und Programme zur Datenaufnahme getestet wurden. Ab 2003 soll der reguläre Meßbetrieb aufgenommen werden.

Mit der Beobachtung von Gravitationswellen wird sich ein neues Gebiet der Astronomie eröffnen. Wir werden Informationen über das Universum erhalten, die völlig anderer Art sind als die aus der klassischen Astronomie mit Licht, Radiowellen oder Röntgenstrahlung.

Die meisten Quellen von Gravitationswellen senden keine elektromagnetische Strahlung aus und umgekehrt. Die Informationen über das All, die man mit diesen beiden Zweigen der Astronomie erhält, sind in gewisser Weise komplementär. Ferner erwartet man Gravitationswellen auch aus den bisher verschlossenen, dunklen Bereichen des Universums sowie aus seiner Entstehungszeit. Mit überraschenden Entdeckungen ist also zu rechnen.

Prof. Dr. rer.nat. Herbert Welling
Physik · Universität Hannover
Nogatweg 13 · D-30916 Isernhagen

CHRISTEL C. MÜLLER-GOYMAN, Braunschweig

Kolloidale Arzneimittel – auf die „Verpackung“ kommt es an

Braunschweig, 11.10.2002*

Ein Arzneimittel enthält neben einem oder mehreren Wirkstoffen, d.h. arzneilich wirksamen Substanzen, in der Regel außerdem eine Reihe von Hilfsstoffen, d.h. pharmakologisch indifferenten Substanzen. Letztere bilden im Zuge eines geeigneten Herstellungsverfahrens die Arzneiform, damit ein potenter Wirkstoff überhaupt dosiert und zur Anwendung kommen kann. Die Arzneiform dient somit als „Verpackung“ für den Wirkstoff, bestimmt darüber hinaus den Applikationsort (z.B. als intravenöse Injektion oder als Tablette zum Einnehmen) und ermöglicht gleichzeitig die Beeinflussung von Wirkungseintritt, Wirkungsintensität und Wirkdauer.

Neben den klassischen Arzneiformen wie Tabletten oder Lösungen gewinnen zunehmend partikuläre Formulierungen kolloider Dimensionen an Bedeutung. Zu diesen gehören mizellare Assoziationskolloide, Liposomen, flüssigkristalline Tensidgele und Nanodispersionen [1].

Inverse Mizellen als Wirkstoffträger

Die Applikation öliger Wirkstofflösungen oder -suspensionen dient in der Regel einer Wirkungsverlängerung. Arbeitet man zusätzlich geeignete Tenside wie z.B. Lecithin in die Formulierungen ein, wird einerseits eine erhöhte Wirkstoffsolubilisierung in den inversen Mizellen des Tensids und andererseits eine weitere Wirkungsverlängerung der Formulierung erreicht. Diese Wirkungsverlängerung kommt dadurch zustande, dass die applizierte inversmizellare Lösung in Kontakt mit Körperflüssigkeit Wasser aufnimmt und dabei in eine flüssigkristalline Phase transformiert. In Flüssigkristallen ist der Wirkstofftransport gegenüber Flüssigkeiten erheblich verlangsamt, wodurch eine Steuerung der Wirkstofffreigabe möglich wird. Am Beispiel einer in der Arbeitsgruppe entwickelten ophthalmologischen Formulierung, die als ölige inversmizellare Lösung appliziert wird und bei Kontakt mit der Tränenflüssigkeit in eine flüssigkristalline Lamellarphase transformiert, wird anhand von Permeabilitätsstudien mit Cornea-Exzidaten von Schlachttieren sowie mit kultivierten Cornea-Konstrukten der retardierende Einfluss dieser besonderen Formulierung auf die Zurverfügungstellung des solubilisierten Wirkstoffs belegt [2].

Liposomen

Liposomen sind konzentrische, aus ein bis mehreren Lipiddoppelschichten bestehende Vesikel mit wässrigem Kern. Sie sind in einem ebenfalls wässrigen Kontinuum dispergiert.

* Kurzfassung eines Vortrags gehalten vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.

Sowohl polare als auch lipophile Wirkstoffe sind molekulardispers in den jeweils affinen Bereichen der Vesikel solubilisierbar. Für Wirkstoffe mit einem hohen Potential für unerwünschte Wirkungen sind auf diesem Wege besser verträgliche sowie modifiziert freisetzen Arzneimittel konzipierbar. Als Fertigarzneimittel realisiert sind beispielsweise ein injizierbares Antimykotikum, das bei generalisierten Mykosen des Zentralnervensystems oder anderer Organe zur Therapie eingesetzt wird, sowie ein liposomal verkapseltes Porphyrinderivat zur Behandlung der Makuladegeneration, die eine der häufigsten Ursachen für die Erblindung im höheren Lebensalter ist.

Liposomen-Dispersionen können außerdem äußerlich angewendet werden. Durch Variation der kolloiden Struktur der Formulierung und damit im Zusammenhang stehende mögliche Interaktionen mit der Hautstruktur gelingt es einerseits den Wirkstoff in den oberen Hautschichten zu fixieren, wenn die Behandlung einer Hauterkrankung das angestrebte Ziel ist, und andererseits Wirkstoffe systemisch verfügbar zu machen. Letzteres setzt voraus, dass die physiologische Barrieren-Funktion der obersten Hautschicht im Zuge einer Wechselwirkung mit der applizierten Formulierung reduziert und der Stofftransport in den Organismus erleichtert wird. Beispiele aus der Arbeitsgruppe belegen in Abhängigkeit von der kolloiden Struktur der Formulierung, dass Ausmaß und Geschwindigkeit des Wirkstofftransports durch die Haut variieren. Außerdem ist die Visualisierung fluoreszierender Wirkstoffe in unterschiedlichen Schichten der menschlichen Haut gelungen [3]).

Flüssigkristalle als Wirkstoffträger

Der flüssigkristalline Aggregatzustand wird nicht nur thermotrop über Temperaturvariation sondern durch Zugabe eines geeigneten Lösungsmittels erreicht. Dieser letztgenannte lyotrope Mesomorphismus spielt eine große Rolle nicht nur bei vielen für die Herstellung von Arzneimitteln verwendeten Hilfsstoffen sondern auch bei einer Reihe von Wirkstoffen [4]. Auch Wirkstoffe ohne flüssigkristalline Eigenschaften sind im Allgemeinen in flüssigkristallinen Strukturen von Hilfsstoffen solubilisierbar. Flüssigkristalline Strukturmerkmale findet man besonders häufig bei den sogenannten „Halbfesten Zubereitungen zur kutanen Anwendung“, d.h. bei Salben, Cremes und Gelen. Am Beispiel eines flüssigkristallinen Tensidgels mit kubischer Struktur wird die Überlegenheit dieser Arzneiform bei Sportverletzungen und Gelenkrheuma gegenüber wirkstoffgleichen Formulierungen mit einem anderen kolloidchemischen Aufbau demonstriert.

Nanodispersionen

Nanopartikuläre Emulsionen und Suspensionen erfahren zunehmendes Interesse als Arzneiformen sowohl zur intravenösen Injektion als auch zur Applikation auf der Haut (parenterale Narkose mit Emulsionen, intravenös-injizierbare Nanosuspensionen als Kontrastmittel in der Diagnostik per Ultraschall oder Kernspintomographie). Nanopartikuläre Metalloxide wie Titandioxid und Zinkoxid eignen sich aufgrund ihrer Transparenz für sichtbares Licht sowie aufgrund ihres ausgeprägten Absorptions- und Streuvermögens für

UV-Licht als physikalische UV-Filter in medizinischen und kosmetischen Lichtschutzformulierungen. Von der Formulierung hängt es ab, in welcher Hautschicht die nanopartikulären Filtersubstanzen deponiert und damit effizient werden [5].

Literatur

- [1] K.H. BAUER, K.-H. FRÖMMING, C. FÜHRER, B.C. LIPPOLD, C.C. MÜLLER-GOYMANN & R. SCHUBERT, Lehrbuch der Pharmazeutischen Technologie, Mit einer Einführung in die Biopharmazie, 7. Auflage, Wiss. Verlagsges. MbH Stuttgart, 2002
- [2] S. TEGTMEYER, I. PAPANTONIOU & C.C. MUELLER-GOYMANN, Eur. J. Pharm. Biopharm. (2001) **51**,119-125, Reconstruction of an in vitro cornea and its use for drug permeation studies from different formulations containing pilocarpine hydrochloride.
- [3] K. KRIWET & C.C. MUELLER-GOYMANN, Int. J. Pharm. (1995) **125**, 231-42, Diclofenac Release from Phospholipid Drug Systems and Permeation through Excised Human Stratum Corneum.
- [4] C.C. MUELLER-GOYMANN, Anwendung lyotroper Flüssigkristalle in Pharmazie und Medizin in: Lyotrope Flüssigkristalle, Ed. H. Stegemeyer, Steinkopff Verlag Darmstadt, 1999 p. 141-167
- [5] S. GOTTBATH & C.C. MUELLER-GOYMANN, Localization of titanium dioxide microparticles in the horny layer in: The essential stratum corneum, Eds. R. Marks, J.-L. Lévêque, R. Voegeli, Martin Dunitz Ltd, London 2002, p.203-206

Prof. Dr. rer.nat. Christel Charlotte Müller-Goymann
Am Rübenberg 16
D-38104 Braunschweig

HARTMUT THIEME, Hannover

Altpaläolithische Holzgeräte aus Niedersachsen: Konsequenzen der Schöninger Entdeckungen für Kulturanthropologie und Wissenschaftspolitik

Braunschweig, 08.11.2002*

Von der Archäologischen Denkmalpflege (Hannover) werden unter der Leitung des Verf. seit 1983 Rettungsgrabungen im Vorfeld des etwa 6 km² großen Braunkohlentagebaues Schöningen durchgeführt, vielfältig technisch unterstützt durch die Braunschweigische Kohlen-Bergwerke (BKB) AG, Helmstedt. Außer zahlreichen urgeschichtlichen Siedlungen und Gräbern aus dem Neolithikum sowie der Bronze- und Eisenzeit sind dort seit 1992 auch mehrere altpaläolithische Fundplätze entdeckt und ausgegraben worden (THIEME & MAIER 1995) – mit für die frühe Menschheitsgeschichte umwälzenden Entdeckungen (THIEME 1997; 1999a).

Einhergehend mit der bergbaulichen Erschließung wurde in den mächtigen Deckschichten des Quartärs auch eine vielfältige mittel- und jungpleistozäne Sedimentationsabfolge dokumentiert. Sie enthält insgesamt sechs Klima-Großzyklen (seit der Elster-Eiszeit) und umfaßt einen Zeitrahmen von gut einer halben Million Jahre (MANIA 1995). Diese Abfolge mit den darin eingeschlossenen organogenen Interglazialfolgen und deren z. T. reichen Fossilspektren ist nun Grundlage für ein solides quartärgeologisches und biostratigraphisches Referenzprofil für die Klima-, Vegetations- und Umweltgeschichte i. w. S. in Mitteleuropa (THIEME 1999a, Abb. 2). Darüber hinaus geben die in zwei mittelpaleozänen Interglazialabfolgen entdeckten altpaläolithischen Fundplätze (ca. 400 000 Jahre und älter) neue Einblicke in die frühe europäische Besiedlungsgeschichte und Kulturabfolge.

Von großer Bedeutung für die Rekonstruktion der frühen Entwicklungsgeschichte des Menschen ist ein Spektrum sehr gut erhaltener Gerätschaften aus Holz von zweien dieser Fundplätze, die in den viertletzten, bisher nicht belegten Klima-Großzyklus der Reinsdorf-Warmzeit gehören. Dieser ist als mittelpaleozäne Rinnenfüllung eines langgestreckten Flachwassersees nahezu vollständig überliefert (Abb. 1):

Aus dem Optimum dieses (Reinsdorf-)Interglazials (Verlandungsfolge 1) stammen von dem (1992 untersuchten) Fundplatz Schöningen 12, Fundschicht 1 (THIEME, MANIA u. a. 1993) – neben Feuersteinwerkzeugen und den Skelettresten zehn verschiedener Großsäugerarten einer *Palaeoloxodon-antiquus*-Fauna (KOLFSCHOTEN 1993) – vier unterschiedlich lange Tannen-Aststücke (*Abies alba*) (SCHOCH 1995), von denen drei an einem Ende

* Kurzfassung eines Vortrags gehalten vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehaltenen Vortrags.



Abb. 1 Schöningen, Ldkr. Helmstedt. Altpaläolithischer Fundplatz Schöningen 13 II: Grabungssituation im Sommer 1999, mit Blick nach Osten. Von der Tagebau-Endböschung (rechts) ragt im Mittelgrund fast 70 m weit in den Tagebau der vom Abbau vorübergehend ausgesparte Sedimentsockel. In der hohen Profilwand sind die Mudde-Torf-Schichten, d. h. die Verlandungsfolgen 1 bis 3 der Reinsdorf-Warmzeit zu erkennen. Die Folge 4 mit dem Fundhorizont des Wildpferd-Jagdlagers (und den Wurfspeeren) ist hier schon zu großen Teilen ausgegraben und nur im Bereich des Grabungszeltes hinten rechts noch erhalten. In den liegenden Folgen (1–3) wurden inzwischen vier weitere archäologische Fundhorizonte entdeckt. – Die hangende, nahezu 10 m mächtige Schichtenfolge (u. a. mit der bereits in die nachfolgende Kaltzeit gehörenden, interstadialen Verlandungsfolge 5) wurde bereits im Januar 1995 auf einer Fläche von ca. 3 000 m² maschinell abgetragen. Länge der Meßlatte in der Bildmitte: 4 m (Photo: P. Pfarr).

und eines an beiden Enden mit einer tiefen Schnittkerbe versehen sind. Vermutlich handelt es sich bei diesen für das Paläolithikum erstmalig vorliegenden Holzartefakten um Schäftungshilfen für Feuersteingeräte oder auch scharfkantige Abschläge, also um Griffe, die als Klemmschäfte funktionierten. Die Rohlinge für diese Holzartefakte sind aus Tannensämmen ausgewitterte Astansätze (SCHOCH 1995, Abb. 70), die besonders hart und anscheinend gezielt ausgewählt worden sind. Trifft die Deutung als Schäftungshilfen zu, lägen damit die ältesten Nachweise für die Verwendung bereits standardisierter, als Klemmschäfte genutzter Kompositgeräte bereits im Altpaläolithikum vor (THIEME 1999a, 458).

In den Ablagerungen der späten Reinsdorf-Warmzeit (Verlandungsfolge 4, siehe Abb. 1) – mit bereits kühleren Klimabedingungen einer offenen Wald- und Wiesensteppenland-

schaft – wird seit dem Herbst 1994 in der Uferzone des o. g. Sees ein etwa 400 000 Jahre altes Wildpferd-Jagdlager untersucht (Fundplatz Schöningen 13 II-4), mit einer ausgegrabenen Fläche von bisher mehr als 2 500 m². Dort fanden sich Abertausende von Skelettresten einer Herde von Wildpferden, Feuersteinwerkzeuge sowie mehrere Feuerstellen, außerdem eine ganze Kollektion von mindestens acht hölzernen Wurfspeeren. Sie lagen inmitten der zum Seeufer parallel verlaufenden Hauptfundkonzentration (Ausmaße: ca. 50 × 12 m) mit der ausgeweideten Jagdbeute von etwa 20 Pferden.

Die Speere haben Längen von 1,82 m bis etwa 2,50 m, lang ausgezogene Spitzen und sind meist aus Fichtenstämmchen (*Picea* sp.) gearbeitet. Die heutigen Wettkampfspeeren ähnelnden Waffen sind die bislang ältesten vollständig erhaltenen Jagdwaffen der Menschheit. Weitere hervorragend erhaltene Holzgeräte dieses Fundplatzes sind ein 78 cm langer (Ø 3 cm) und an beiden Enden angespitzter Stab, wahrscheinlich ein zur Jagd auf Vögel (z. B. Enten) verwendetes Wurfholz (THIEME 1999a) und ein etwa 90 cm langer (Ø 3,6 cm), an einem Ende angekohlter und mit dem Betreiben der Feuerstellen und wahrscheinlich auch der Nahrungszubereitung in Zusammenhang stehender, als „Bratspieß/Stocherholz/Schürhaken“ interpretierter Holzstab (THIEME 1999b) – beide aus Fichte hergestellt. Außerdem wurden zahlreiche weitere artifizielle Holzreste geborgen, die jedoch alle noch nicht näher analysiert sind.

Die Konsequenzen der Schöninger Entdeckungen für die Kulturanthropologie sind zusammengefaßt in mehrfacher Hinsicht beträchtlich: So wurde der bis dahin einzige konkret überlieferte (mittel-)paläolithische Fund einer vollständigen, 2,38 m langen hölzernen (Stoß-)Lanze (Eibe) 1948 in Niedersachsen, in Lehringen bei Verden (Aller) zwischen den Rippen eines Waldelefanten entdeckt, datiert in die (letzte) Eem-Warmzeit (Alter ca. 120 000 Jahre). Die technisch ausgefeilten, ballistisch ausbalancierten Speere von Schöningen, zudem Fernwaffen, korrigieren nun ein (Welt-)Bild über unsere frühen Vorfahren, das in den letzten Jahrzehnten fast zur Lehrmeinung geworden war, nämlich daß zur (systematischen) Großwildjagd erst der moderne Mensch (*Homo sapiens sapiens*) als der eigentliche Kulturträger etwa seit der Mitte der letzten Eiszeit befähigt gewesen sei – und der Neandertaler und der Urmensch (*Homo erectus*) ihre Existenz primär durch die Verwertung von Aas (Fallwild) gesichert hätten (BINFORD 1981; GAMBLE 1987).

Der neue Befund von Schöningen zeigt nun aber, daß bereits der Urmensch zu dieser frühen Zeit anscheinend längst eine Großwildjagd mit speziellen Fernwaffen zu planen, zu organisieren, zu koordinieren und erfolgreich durchzuführen verstand. Zudem mit einer Jagdtechnik und -spezialisierung ausschließlich auf Pferde, auf schnelles flüchtiges Herdenwild, für die es aus dem Altpaläolithikum bislang ebenfalls keine Nachweise gab. Die in den oben skizzierten Jagdbefund eingebettete Kollektion von Wurfspeeren gibt damit auch neue Antworten auf die Fragen zum Zeitraum der Herausbildung systematischer Großwildjagd beim frühen Menschen. Zusammen mit den anderen bisher geborgenen unterschiedlichen Geräten aus Holz sowie den daran ablesbaren, hervorragenden technischen Fertigkeiten in den einzelnen Bearbeitungsschritten dieses Rohstoffes von der Auswahl bis hin zu seiner Nutzanwendung sind dies wertvolle Belege nicht nur für großes handwerkliches Geschick in der Holzbearbeitung, sondern auch für komplexe Handlungsabläufe im Arbeitsprozeß, für begriffliches Denken und damit auch für ein breites differen-

ziertes Sprachvermögen – alles in allem bisher erst dem modernen Menschen zugeschriebene intellektuelle Fähigkeiten vorausschauenden, planenden Denkens und Handelns.

Zahlreichen weiteren Fragen zur kulturellen Ausstattung des frühen Menschen wird erst mit den weitgehend noch ausstehenden Auswertungsarbeiten nachgegangen werden können: Beispielhaft seien hier die Entschlüsselung des gesamten Jagdgeschehens und des jagdökonomischen Verhaltens durch taxonomische und taphonomische Untersuchungen der Jagdbeute genannt, die Analyse der vielen ausgezeichnet erhaltenen Schnittpuren auf den Skelettresten, die der Zerlegungs- und Verarbeitungsstrategie der Jagdbeute (bis hin zur Vorratshaltung?/Fell-/Hautverarbeitung zum Zeltbau oder für Kleidung etc.?) sowie der dafür genutzten Gerätschaften, d. h. aller mit einer effektiven Verwertung des erjagten Großwildes und seiner (Aus-)Nutzung verbundener Tätigkeiten, die Herausarbeitung der besonders mit den Feuerstellen verknüpften verschiedenen Arbeitszonen (im übrigen Feuerstellen, die mit zu den ältesten Nachweisen des Feuergebrauchs gehören), die Aufdeckung der Gesamtstruktur des Schlacht-/Lagerplatzes und seiner Organisation und nicht zuletzt die Rekonstruktion der lokalen und überregionalen Naturumwelt und des dialektischen Verhältnisses zwischen Mensch und Natur/Umwelt, seiner entwickelten Anpassungsstrategien sowie auch seines sozialen Verhaltens u. v. a. m..

Die Konsequenzen der Schöninger Entdeckungen für die bisherige Wissenschaftspolitik lassen sich mit einem jüngsten Zitat aus dem Jahresbericht „Die ROTE MAPPE 2001“ des Niedersächsischen Heimatbundes e.V. (NHB), vorgelegt auf dem 82. Niedersachsentag in Nordhorn am 21. April 2001, kurz und bündig illustrieren: *„Die unzureichende Förderung und Fortführung der Ausgrabungen in Schöningen, Landkreis Helmstedt, mit ihren weltweit einzigartigen Funden halten wir für blamabel“* (ebd., S. 23).

So hat der hier in aller Kürze zuletzt skizzierte altpaläolithische Befund eines Wildpferd-Jagdlagers inzwischen zwar den Rang eines Weltkulturerbes, doch führte zu dessen Rettung – für die durch die BKB AG zunächst nur eine Grabungsfrist von zwei Jahren (ab 1995) eingeräumt war – im wesentlichen das große Engagement von Langzeitarbeitslosen während zwei jeweils zweijähriger AB-Maßnahmen des Helmstedter Arbeitsamtes (bis 2000) sowie eines Grabungstechnikers und eines Saisonarbeiters. Eine zusätzliche Unterstützung durch das Land Niedersachsen, dem durch seine Kulturhoheit über dieses kulturelle Erbe der Menschheit eine besondere Verantwortung zugewachsen ist, hat dieses Großprojekt der Archäologischen Denkmalpflege zur Bewältigung der immensen Aufgaben zur Rettung, Bergung, Bearbeitung und Konservierung bis hin zur wissenschaftlichen Auswertung und Veröffentlichung der Funde und Befunde aus Schöningen bisher kaum erfahren. Und dies, obwohl bereits seit dem März 1995 u. a. Prof. Dr. D. Planck (Stuttgart) als Vorsitzender des Verbandes der Landesarchäologen in der Bundesrepublik Deutschland, Prof. Dr. S. von Schnurbein (im Oktober 1997) als Präsident der Deutschen Verbände für Altertumsforschung und im August 1997 mehr als 50 Forscherpersönlichkeiten als Teilnehmer des International Interdisciplinary Symposium *„Lifestyles and survival strategies in Pliocene and Pleistocene hominids“* (Weimar, 4.–10. Mai 1997) in einem eindringlichen Appell an das Land Niedersachsen ihre große Sorge um *„weltweit einmalige Befunde der frühen Menschheitsgeschichte“* zum Ausdruck gebracht haben.

Mit der Entdeckung von mittlerweile vier weiteren altpaläolithischen Fundhorizonten in dem von der BKB AG vorübergehend ausgesparten Sedimentsockel im Tagebau Schöningen (Abb. 1) und der zunehmenden Gefährdung allen dort noch eingebetteten organischen Fundgutes durch Austrocknung der Sedimente sind die Herausforderungen für die Denkmalpflege zur Rettung dieser einmaligen Quellen nicht geringer geworden. Vielmehr haben die dort in einem Volumen von etwa 15–20 000 m³ überlieferten Schichtenfolgen mit ihren ausgezeichneten Erhaltungsbedingungen für organische Materialien und den Jahr um Jahr darin neu entdeckten, einzigartigen altpaläolithischen hölzernen Gerätschaften kulturhistorisch übernationalen Rang und gehören wegen ihres inzwischen enorm hohen Stellenwertes für die Rekonstruktion des langwierigen, wechselvollen und vielschichtigen Entwicklungsprozesses des Menschen und der menschlichen Gesellschaft zur ersten Kategorie des kulturellen Erbes der Menschheit, dem voll gerecht zu werden die deutsche Kulturnation sich verpflichtet fühlen muß – nicht zuletzt unter dem Aspekt gesellschaftspolitischer Identitätsstiftung wie auch unter dem der Denkmalpflege als globaler Aufgabe.

Literatur

- BINFORD, L. R. (1981), *Bones: Ancient men and modern myths*. – New York/London.
- GAMBLE, C. (1987), *Man the Shoveler*. In: O. SOFFER (Hrsg.), *The Pleistocene Old World. Regional Perspectives*. New York. 81–98.
- MANIA, D. (1995), Die geologischen Verhältnisse im Gebiet von Schöningen. In: H. THIEME & R. MAIER, *Archäologische Ausgrabungen im Braunkohlentagebau Schöningen, Landkreis Helmstedt*. Hannover. 33–43.
- SCHOCH, W. H. (1995), Hölzer aus der Fundschicht 1 des altpaläolithischen Fundplatzes Schöningen 12 (Reinsdorf-Interglazial). In: H. THIEME & R. MAIER, *Archäologische Ausgrabungen im Braunkohlentagebau Schöningen, Landkreis Helmstedt*. Hannover. 73–84.
- THIEME, H. (1997), Lower Palaeolithic hunting spears from Germany. – *Nature* 385: 807–810.
- DERS. (1999a), Altpaläolithische Holzgeräte aus Schöningen, Lkr. Helmstedt. Bedeutsame Funde zur Kulturentwicklung des frühen Menschen. – In: *Germania* 77, 1999, 451–487. Mainz.
- DERS. (1999b), Ein angekohlter Holzstab vom altpaläolithischen Fundplatz Schöningen 13 II-4. – In: E. CZIESLA, TH. KERSTING & ST. PRATSCH (Hrsg.): *Den Bogen spannen ... (Festschrift für Bernhard Gramsch)*. Beiträge zur Ur- und Frühgeschichte Mitteleuropas 20, 1999, 15–27. Weissbach.
- THIEME, H. & R. MAIER (1995), *Archäologische Ausgrabungen im Braunkohlentagebau Schöningen, Landkreis Helmstedt*. – Hannover. 191 S.

THIEME, H., D. MANIA, B. URBAN & T. KOLFSCHOTEN (1993), Schöningen (Nordharzvorland). Eine altpaläolithische Fundstelle aus dem mittleren Eiszeitalter. – Arch. Korrb. 23: 147–163.

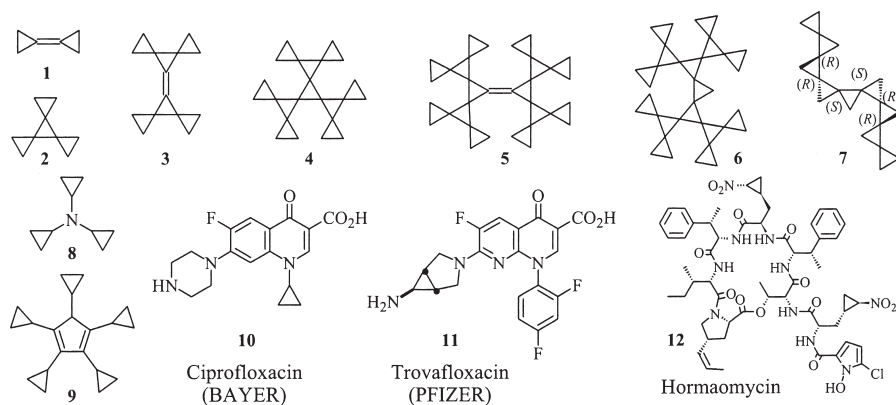
Dr. Hartmut Thieme
Niedersächsisches Landesamt für Denkmalpflege
Scharnhorststr. 1 · D-30175 Hannover

ARMIN DE MEIJERE, Göttingen

Kleine Ringe, Große Wunder – Warum sich Chemiker mit Cyclopropanderivaten beschäftigen

Braunschweig, 08.02.2002

Die Beschäftigung mit Kleinring-Chemie hat ursächlich mit wissenschaftlicher Neugier zu tun. So war es bereits bei William Henry Perkin, der 1884 im Labor von Otto von Bayer in München das erste Cyclopropan-Derivat synthetisierte, und noch heute kann man die Grenzen der Bindungsfähigkeit des Kohlenstoffs besonders gut mit ungewöhnlichen Aggregaten von Cyclopropyl-Gruppen ausloten. Die Beschäftigung mit Kohlenwasserstoffen wie **1-7** hat deshalb immer auch einen bindungstheoretischen Aspekt. [1] Physikalisch-chemische Fragestellungen stehen auch im Vordergrund bei der Beschäftigung mit dem Tricyclopropylamin **8** und dem Pentacyclopropylcyclopentadien **9** bzw. davon abgeleiteten reaktiven Zwischenstufen. Bicyclopropyliden (**1**) ist nicht nur ein Kuriosum, sondern auch ein nützlicher Synthesebaustein mit sechs Kohlenstoffatomen, den man beispielsweise in neuen Mehrkomponenten-Reaktionen mit kombinatorischem Potential einsetzen kann. Eine neue Synthese für Cyclopropylamine spielt direkt hinein in den Aufbau pharmakologisch wichtiger neuer Substanzen. [2]



Demnach hat die Chemie der Cyclopropan-Derivate heutzutage auch unmittelbare praktische Relevanz. Ein berühmtes Beispiel ist das Ciprofloxacin **10**, ein Breitband-Antibioti-

* Kurzfassung eines Vortrags gehalten in der Klasse für Mathematik- und Naturwissenschaftler der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.

kum mit weltweiten Umsätzen von mehr als 1 Milliarde Euro. Auch das Trovafloxacin **11** hat für eine kurze Zeit eine ähnlich hohe Bedeutung gehabt. Synthesen von Cyclopropan-Derivaten, nötigenfalls auch in diastereomeren- oder gar enantiomerenreiner Form, können deshalb heutzutage einen seit langem mit der Kleinring-Chemie verbundenen Forscher selbst dann beschäftigen, wenn es um komplexere Naturstoffe wie das Hormaomycin **12** geht.

Literatur

- [1] A. DE MEIJERE & S. I. KOZHUSHKOV, *Chem. Rev.* 2000, **100**, 93–142.
- [2] O. G. KULINKOVICH & A. DE MEIJERE, *Chem. Rev.* 2000, **100**, 2789–2834.

Prof. Dr. rer. nat. Armin de Meijere
Institut für Organische Chemie, Georg-August-Universität Göttingen
Tammannstrasse 2,
D-37077 Göttingen, Germany

HELMUT BRASS, Braunschweig
Was ist Quadraturtheorie?

Braunschweig, 19.4.2002*

Quadraturtheorie ist ein Teilgebiet der Numerischen Mathematik. Ihr Gegenstand ist das Studium von Algorithmen zur Berechnung des Integrals

$$(1) \quad \int_a^b f(x) dx$$

einer gegebenen Funktion f . Eine Funktion f ist gegeben, wenn man zu jedem $x \in [a, b]$ den Wert $f(x)$ bestimmen kann; dazu ist keineswegs notwendig, dass für f ein analytischer Ausdruck vorliegt, vielmehr ist auch die Situation, dass die Zahlen $f(x)$ Ergebnisse von Messungen sind, praktisch sehr bedeutsam.

Quadratur-Algorithmen bestimmen also aus der Kenntnis von Funktionswerten $f(x_1), \dots, f(x_n)$ einen Schätzwert

$$(2) \quad Q[f(x_1), \dots, f(x_n)]$$

für (1). Jedoch kann über den Grad der Annäherung von (2) an (1) ohne weitere Information über f nichts ausgesagt werden, weil das Integral vom Gesamtverlauf von f (und nicht nur von einzelnen Funktionswerten) abhängt. Man benötigt also zusätzlich zu den Funktionswerten (der „Observation“) eine Eigenschaft von f (die „Co-Observation“), die es gestattet, die Werte $f(x)$ für $x \neq x_i$ einzugrenzen.

Man definiert nun den Fehler des Algorithmus Q bei der Co-Observation C durch

$$(3) \quad \rho(Q, C) := \sup\left\{\left|\int_a^b f(x) dx - Q[f(x_1), \dots, f(x_n)]\right| : f \in C\right\}.$$

Offenbar ist Q um so besser zur Berechnung von (1) geeignet, je kleiner $\rho(Q, C)$ ist. Zur Bewertung eines Algorithmus hat man neben der Größe des Fehlers noch den zu seiner Durchführung notwendigen Aufwand heranzuziehen. Üblicherweise mißt man diesen Aufwand durch die Zahl n der verwendeten Funktionswerte. Demnach verdient unter allen Algorithmen bei vorgegebenem C und n derjenige ein besonderes Interesse, für den der Fehler (3) unter allen Algorithmen mit n Funktionsauswertungen minimal wird. Man bezeichnet ihn als optimal.

Vor dem Hintergrund dieser Begriffsbildungen kann nun die Frage des Titels exemplarisch beantwortet werden durch die Beschreibung von drei Resultaten, die in der Braunschweiger Arbeitsgruppe erzielt wurden.

* Kurzfassung eines Vortrags gehalten in der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.

(i) Für die Co-Observation

$$\mathcal{C}_M^{conv} := \{f : f \text{ konvex und } \sup_{a \leq x \leq b} |f(x)| \leq M\}$$

konnte der optimale Algorithmus bestimmt werden ([1]). Das ist deswegen bemerkenswert, weil optimale Algorithmen nur für ganz wenige Co-Observationen von praktischem Interesse bekannt sind. Im Spezialfall $[a, b] = [-1, 1]$, n gerade und $M = 1$ lautet er

$$Q[f(x_1) \dots f(x_n)] := \sum_{\nu=1}^{\frac{n}{2}} 2\nu c_n [f(-1 + \nu^2 c_n) + f(1 - \nu^2 c_n)]$$

mit

$$c_n := 4(n^2 + 2n + 2)^{-1}$$

und es ist hier

$$\rho(Q, \mathcal{C}_1^{conv}) = c_n.$$

(ii) Für die früher fast ausschließlich betrachtete Co-Observation

$$\mathcal{C}_M^{(r)} := \{f : \sup_{a \leq x \leq b} |f^{(r)}(x)| \leq M\}$$

sind die optimalen Algorithmen nur für $r = 1$ und $r = 2$ bekannt. Für größere r hat man Algorithmen zu verwenden, für die der Fehler nicht minimal, aber natürlich möglichst klein ist. Für den besonders interessanten Fall $r = n$ konnten wir [2] -in Verbesserung verschiedener älterer Resultate- einen Algorithmus Q mit

$$\rho(Q, \mathcal{C}_M^{(n)}) \leq \frac{1}{n!} \frac{\sqrt[n]{\frac{n}{2}}}{(3\sqrt{3})^{n-1}} M$$

angeben, eine Schranke, die bis heute nicht wesentlich verschärft ist.

(iii) Beginnend mit Newton sind eine Fülle von ganz unterschiedlichen Quadratur-Algorithmen vorgeschlagen worden. Ein Qualitätsvergleich kann auf die Fehlerschranken (3) gestützt werden, hängt aber natürlich von der Co-Observation ab. In [3] ist ein solcher Vergleich durchgeführt zwischen zwei derzeit sehr populären Algorithmen, dem von Gauss und dem von Romberg. Dabei stellte sich – etwas überraschend – die Überlegenheit des Gauss-Algorithmus für eine große Klasse von Co-Observationen heraus.

Literatur

- [1] H. BRASS, Zur Quadraturtheorie konvexer Funktionen. In: Numerical Integration (Ed.: G. Hämmerlin). Birkhäuser 1982.
- [2] H. BRASS & K.-J. FÖRSTER, On the estimation of linear functionals. Analysis 7, 237-258 (1987).

- [3] H. BRASS & J.-W. FISCHER, Error bounds for Romberg quadrature. Numer. Math. 82, 389—408 (1999).

THOMAS HARTMANN, Braunschweig

Evolution durch Funktionswechsel: Ein Beispiel aus der molekularen Biologie

Hannover, 31. Mai 2002*

Zwei Theorien beschreiben die grundsätzlichen Wege evolutionären Wandels: 1. Die allmähliche Veränderung eines Merkmals unter einem sich wandelnden Selektionsdruck (Gradualismus); 2. der plötzlicher Funktionswechsel eines Merkmals, unter dem Einfluss eines neuen Selektionsdrucks („the change of function principle“) [1]. Für den ersten Fall lassen sich leicht Belege finden; ein bekanntes Beispiel sind die Anpassungen der Vordergliedmaßen von Wirbeltieren an die Anforderungen einer sich verändernden Lebensweise bei Maulwürfen, Walen und Fledermäusen. Beispiele für die zweite Theorie sind nicht so offensichtlich, ich wähle eines aus dem Pflanzenreich. Die Laubblätter der Pflanze als Ort der Photosynthese sind für den Energiestoffwechsel und damit das Überleben der Pflanze unerlässlich. Dennoch lässt sich beobachten, dass Blätter offensichtlich im Zuge der Evolution plötzlich neue Aufgaben übernommen haben, die nichts mit der Photosynthese zu tun haben. Zwei Beispiele sind in Fig.1 dargestellt. Manche Pflanzen, wie die Erbse, bilden Blätter oder Teilblätter in Ranken um, andere bilden ganze Blätter oder wie die abgebildete

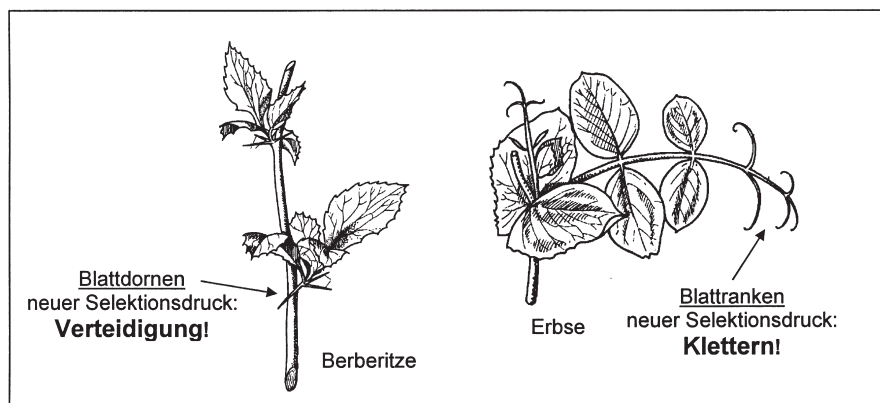


Fig. 1. Die Bildung von Blattdornen und Blattranken als zwei klassische Beispiele für Evolution durch Funktionswechsel.

* Kurzfassung eines Vortrags gehalten in der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.

Berberitze Nebenblätter in Dornen um. In beiden Fällen wurde im Verlaufe der Evolution der primär auf das Organ Blatt wirkende Selektionsdruck zur Aufrechterhaltung einer möglichst leistungsfähigen Photosynthese durch andere selektierende Kräfte ersetzt. Im ersten Fall wird das Blatt in ein Haftorgan umgewandelt, das der Pflanze in Konkurrenz zu anderen Arten einen besseren Zugang zum Licht verschafft. Im zweiten Fall entsteht ein mechanisches Wehrorgan, mit dem sich die so bewehrte Pflanze größere Pflanzenfresser vom Leibe halten kann. In beiden Fällen sind unter dem jeweils neuen Selektionsdruck komplexe morphologische und funktionell neu optimierte Organe entstanden. Über die Mechanismen und molekularen Strategien, die derartigen Funktionswechseln zugrunde liegen und die Herausbildung neuer Eigenschaften in evolutionären Zeiträumen möglich machen, ist kaum etwas bekannt. Ein vergleichbares Beispiel aus dem Bereich des pflanzlichen Sekundärstoffwechsels, das auf molekularer Ebene einen Zugang zur Bearbeitung des Problems eröffnet, wird vorgestellt.

Der pflanzliche Sekundärstoffwechsel umfasst in fast unermesslicher Strukturvielfalt Stoffe, die für Wachstum und Entwicklung der Pflanze keine Rolle spielen aber für das Überleben der Art in einer zumeist feindlichen Umwelt unerlässlich sind [2]. Der Sekundärstoffwechsel spielt bei der in Pflanzen sehr ausgeprägten chemischen Abwehr von Pflanzenfressern und pathogenen Mikroorganismen eine zentrale Rolle. Zwischen der Pflanze und ihren Feinden besteht ein ständiger Wettlauf ums Überleben. Pflanzenfresser und Pathogene können nur überleben, wenn es ihnen gelingt die chemische Abwehr der Pflanze zu überwinden; die Pflanze überlebt nur, wenn sie es immer wieder schafft ihre chemische Abwehr an neue Situationen anzupassen. Wir untersuchen an einer ausgewählten Klasse von Sekundärstoffen, den Pyrrolizidin-Alkaloiden, die ich im Folgenden kurz PAs nennen werde, diese Phänomene auf biochemischer und molekularer Ebene [3]. Eine unserer Fragen ist, woher stammen die funktionellen Elemente (Enzyme, Transporter etc.) der PA-Synthese in der Pflanze? Bei der Isolierung und molekularen Charakterisierung eines Schlüsselschrittes in der Synthese der PAs ist es uns gelungen die Rekrutierung eines Gens des pflanzlichen Grundstoffwechsels für eine neue Aufgabe in der PA-Synthese nachzuweisen. Das Gen des Grundstoffwechsels codiert ein Enzym namens Deoxyhypusinsynthase (DHS) [4]. Die DHS kommt in allen höheren Organismen vor, ist lebensnotwendig und in seiner Aminosäuren-Zusammensetzung (Sequenz) hoch konserviert, d. h. in evolutiven Zeiträumen kaum verändert worden. Die Funktion der DHS liegt darin, ein regulatorisches Protein mit dem Kürzel eIF5A (eukarontischen Initiationsfaktor 5A) zu aktivieren. Wir konnten nun zeigen, dass das für die DHS codierende Gen dupliziert wurde und das Duplikat nun ein Enzym codiert, das unter dem Namen Homospermidin-Synthase (HSS) eine völlig neue Funktion übernommen hat, nämlich die Synthese eines spezifischen chemischen Bausteins (Homospermidin) der PA-Synthese [5]. Homospermidin kommt nur in Pflanzen vor, die PAs bilden. Vergleichende molekulare und enzymkinetische Untersuchungen der beiden Enzyme ergaben, dass DHS und HSS völlig identische Eigenschaften aufweisen, bis auf einen Unterschied: die HSS hat die Fähigkeit verloren das Protein-Substrat (eIF5A) der DHS zu binden und umzusetzen (Fig. 2) [6]. Andererseits besitzt die DHS als enzymatische Nebenaktivität die Fähigkeit Homospermidin zu bilden, eine Eigenschaft, die das Enzym jedoch *in vivo* nicht einsetzt (Fig. 2).

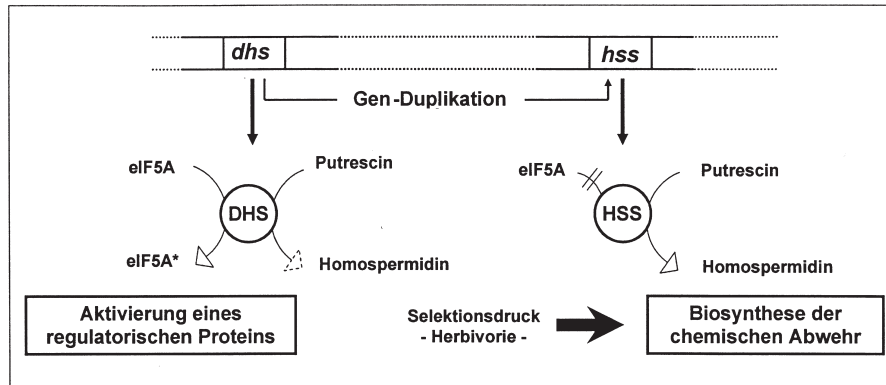


Fig. 2. Genduplikation und anschließende Rekrutierung des Duplikats für eine völlig neue Aufgabe als molekulares Beispiel für „Evolution durch Funktionswechsel“.

Ohne dass wir uns mit weiteren Einzelheiten dieses speziellen Beispiels beschäftigen müssen, können wir einige allgemeine Aussagen machen. Durch Genduplikation ist das gebildete Duplikat dem stringenten Selektionsdruck, der auf der Funktion der DHS lastet, entzogen. Das Duplikat, d.h. sein Produkt die HSS ist „frei“ für neue Aufgaben. In unserem Fall ist die neue Aufgabe die Synthese einer Komponente aus der chemischen Abwehr der Pflanze. Mit der Rekrutierung des Genduplikats hat ein kompletter Funktionswechsel stattgefunden: aus einem Gen (Enzym) das ein regulatorisches Protein aktiviert, ist ein Gen (Enzym) hervorgegangen, das an der Biosynthese einer Wehrsubstanz beteiligt ist. Es unterliegt nun dem selektierenden Druck einer erfolgreichen chemischen Abwehr von Herbivoren. Es ist dies ein molekulares Beispiel für „Evolution durch Funktionswechsel“. Wir stehen erst am Beginn eines faszinierenden Arbeitsfeldes, das die Möglichkeit eröffnet Fragen zur Evolution neuer Merkmale experimentell nachzugehen. Konkret zu unserem Beispiel greife ich heraus: (1) Hat die Genduplikation im Pflanzenreich nur einmal oder mehrfach unabhängig voneinander stattgefunden, d. h. ist die PA-Biosynthese monophyletischen oder polyphyletischen Ursprungs? Wir haben bereits Belege das Letzteres zutrifft; (2) wurde mit der Gen-Rekrutierung auch „regulatorische Infrastruktur“ übernommen? (3) Woher stammen die übrigen „funktionellen Elemente“ der PA-Biosynthese? Wir können zwar Evolution nicht wiederholen, wohl aber bietet das Beispiel der PA-Biosynthese die Möglichkeit auf molekularer Ebene die Spuren eines evolutiven Prozesses zu verfolgen und damit die zugrunde liegenden Mechanismen besser verstehen zu lernen.

Literatur

- [1] MAYR, E. (1997), This is Biology. Harvard University Press: Cambridge, MA
- [2] HARTMANN, T. (1996), Diversity and variability of plant secondary metabolism: A mechanistic view. *Entomol Exp Appl* **80**, 177-188
- [3] HARTMANN, T. (1999), Chemical ecology of pyrrolizidine alkaloids. *Planta* **207**, 483-495
- [4] OBER, D. & T. HARTMANN (1999), Deoxyhypusine synthase from tobacco: cDNA isolation, characterization, and bacterial expression of an enzyme with extended substrate specificity. *J Biol Chem* **274**, 32040-32047
- [5] OBER, D. & T. HARTMANN (1999), Homospermidine synthase, the first pathway-specific enzyme of pyrrolizidine alkaloid biosynthesis, evolved from deoxyhypusine synthase. *Proc Natl Acad Sci USA* **96**, 14777-14782
- [6] OBER, D., R. HARMS, L. WITTE & T. HARTMANN (2003), Molecular evolution by change of function: alkaloid-specific homospermidine synthase retained all properties of deoxyhypusine synthase except binding the eIF5A precursor protein. *J Biol Chem* (in press)

Prof. Dr. rer.nat. Thomas Hartmann
Walter-Hans-Schultze-Str. 21
D-38116 Braunschweig

JOCHEN LITTERST, Braunschweig

**Paritätsverletzung und neue Materialien:
Anwendungen der Myonen-Spin-Rotation μ SR
(oder: warum ein Präsident die Physik nicht lassen kann...)**

Braunschweig, 11.10.2002*

Was sind Myonen?

Myonen sind Elementarteilchen, die etwa 200mal so schwer sind wie Elektronen, oder anders betrachtet etwa ein Neuntel der Masse eines Protons besitzen. Analog zu negativ und positiv geladenen Elektronen gibt es positiv und negativ geladene Myonen. Für die μ SR-Methoden (Myonen-Spin-Rotation, -Relaxation und -Resonanz) werden in erster Linie positive Myonen μ^+ eingesetzt. Myonen besitzen wegen ihres intrinsischen Drehimpulses (Spin) ein magnetisches Moment, d.h. in einem Magnetfeld werden die Myonen wie kleine magnetische Kreisel mit einer durch das Magnetfeld vorgegebenen Frequenz präzedieren (Fig.1).

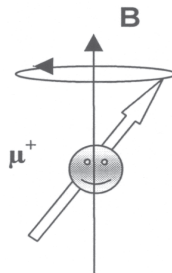


Fig.1: Präzession des Myonenspins in einem Magnetfeld B

Im Gegensatz zu den stabilen Elektronen zerfallen Myonen mit einer mittleren Lebensdauer von etwa $2.2 \mu\text{s}$ und zwar im Fall des positiv geladenen Myons in ein Positron und zwei Neutrinos (Fig.2). Das Positron e^+ wird dabei vorzugsweise in der Richtung emittiert, in die das magnetische Moment des Myons zu diesem Zeitpunkt zeigt. Dies stellt eine Symmetrieverletzung dar. Sie ist die Folge der Paritätsverletzung beim β -Zerfall.

Durch Messung der Zahl der Zerfallspositronen in einer bestimmten Richtung im Verlauf der nach dem Abstoppen eines Myons in einer Probe verstrichenen Zeit lässt sich das

* Kurzfassung eines Vortrags gehalten in der Klasse für Mathematik- und Naturwissenschaftler der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.

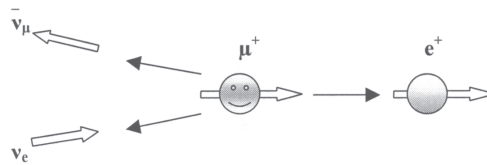


Fig. 2: Zerfall des Myons in ein Positron und zwei Neutrinos (schematische Darstellung). Die offenen Pfeile symbolisieren die Spinrichtungen

am Myonenort wirkende Magnetfeld ermitteln. Diese Technik nennt man Myonen-Spin-Rotation.

Wozu werden Myonen verwendet?

Mit Myonen lassen sich die Magnetfelder im Inneren jedes Materials im Bereich zwischen den Atomen untersuchen. Die messbaren Felder reichen von etwa einem Zehntel bis zu dem Hunderttausendfachen des Wertes des erdmagnetischen Felds. Für zeitlich fluktuierende Felder besteht ein Sensitivitätsfenster zwischen etwa einem Tausendstel bis herab zu Billionsteln einer Sekunde. μ SR ist daher besonders geeignet für das Studium von magnetischen Materialien und Supraleitern. Weiterhin kann man Aufschluss über den Aufenthalt von Wasserstoff und seine Beweglichkeit sowie über Eigenschaften von Defekten in einer Vielzahl technologisch wichtiger Materialgruppen, z.B. Halbleitern, erhalten. Der Materialbereich erstreckt sich von reinen Metallen, über komplexe Legierungen zu chemischen Verbindungen mit unterschiedlichsten Strukturen im kristallinen, amorphen, flüssigen oder gasförmigen Zustand.

Wie werden Myonen hergestellt?

Myonen wurden erstmals vor ca. 65 Jahren als Folgeprodukte der auf die Erde auftretenden Höhenstrahlung entdeckt. Die für die μ SR benötigten Myonen werden in Teilchenbeschleunigern erzeugt. Beim Beschuss z.B. von Graphit mit hochenergetischen Protonen von ca. 600 MeV werden Pionen erzeugt, bei deren Zerfall Myonen entstehen (Fig. 3 und 4). Die Spinrichtung dieser Myonen ist bevorzugt antiparallel zur Flugrichtung der Myonen polarisiert. Auch dies ist eine Folge einer Paritätsverletzung: die entstehenden Neutrinos sind „linkshändig“, d.h. sie sind mit ihrem Drehimpuls antiparallel zu ihrer Flugrichtung polarisiert. Auf Grund der Drehimpulserhaltung muss dann der Spin des Myons entgegengesetzt zum Neutrinospin gerichtet sein.

Die meist genutzten Myonen-Facilities befinden sich am Paul Scherrer Institut PSI (Villigen, Schweiz), an ISIS beim Rutherford-Appleton Laboratory RAL (Chilton, UK), am TRIUMF (Vancouver, Kanada) und am KEK (Tsukuba, Japan).

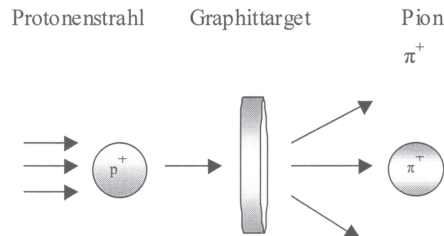


Fig. 3: Herstellung von Pionen durch Beschuss eines Graphittargetes mit Protonen.

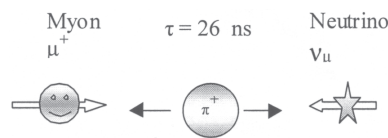


Fig. 4: Zerfall eines Pions in ein Myon und ein Neutrino mit einer mittleren Zerfallszeit von 26 ns

Neue Entwicklungen

μ SR-Experimente haben bereits wichtige Beiträge zum besseren Verständnis des Vortex-Zustands [1,2], der superfluiden Dichte [3,4] und dem komplexen Zusammenspiel von Supraleitung und Magnetismus [5,6] in supraleitenden Kupraten (so genannten Hochtemperatursupraleitern) geliefert. Bis vor kurzem war jedoch die μ SR-Methode nur auf relativ dicke (mm) Proben beschränkt. Im Rahmen eines u.a. durch das BMBF geförderten Projekts ist es kooperierenden Gruppen des PSI, der Universität Konstanz, der Technischen Universität Braunschweig und der Universität Birmingham weltweit erstmals gelungen, am PSI einen einsatzfähigen niederenergetischen Myonenstrahl im eV bis keV-Bereich bereitzustellen und für μ SR einzusetzen (eine Übersicht dazu wird in [7] gegeben). Mit dieser LE- μ SR (low energy μ SR) lassen sich nun auch Schichten im Nanometerbereich studieren, was vollkommen neue Anwendungsfelder eröffnet. Inzwischen werden mehr als $700 \mu^+$ am Ort der zu untersuchenden Probe erzielt, damit lassen sich bereits in akzeptablen Messzeiten von einigen Stunden gute Resultate erzielen.

Ein typisches Anwendungsbeispiel ist das Studium des Magnetfeldverlaufs in der Nähe der Oberfläche (sowohl innerhalb wie außerhalb) eines Supraleiters. Es gelang den Flusslinienverlauf des so genannten Dreiecks-Flussschlauch-Gitters in einem $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$ Film zu verfolgen [8] und erstmals das Eindringen eines angelegten Magnetfelds in einen Supraleiter, wie es nach der London-Theorie [9] vorhergesagt wird, direkt zu überprüfen [10].

Zusammenfassend bestätigen die experimentellen Ergebnisse in ausgezeichneter Weise Rechnungen nach dem Londonschen Modell, wodurch das Potenzial der LE- μ SR deutlich demonstriert wird.

Aktuelle Experimente befassen sich mit dem Diffusionsverhalten von Myonen (in der Rolle eines leichten Wasserstoffisotops) in dünnen Schichten [11], dem Magnetismus dünner Schichten [12], z.B. in Mehrfachschichten mit nichtmagnetischen Zwischenlagen [13]. Viele dieser „neuen Materialien“ besitzen Eigenschaften, die von denen dicker Schichten abweichen. Sie sind deswegen für viele technische Anwendungen, z.B. für Sensoren, interessant.

Wegen des hohen internationalen, wissenschaftlichen Interesses vieler Forschergruppen an dieser neuen Methode wird die Experimentiereinrichtung am PSI zur Zeit wiederum unter Beteiligung der TU Braunschweig erweitert und verbessert, vor allem soll die Myonenausbeute auf etwa das Zehnfache der bisher erzielten gesteigert werden.

Bei der Planung, der Errichtung der Anlage, der Durchführung, Auswertung und Interpretation der Experimente waren zahlreiche Kollegen des PSI (Gruppe Morenzoni), der Universitäten Konstanz (Gruppe Schatz, Niedermayer), Birmingham (Gruppe Forgan) und Zürich (Gruppe Keller) beteiligt, ohne deren tatkräftiges Zusammenwirken diese Ergebnisse nicht möglich geworden wären. Ich möchte hier den Doktoranden und Diplomanden unserer μ SR-Arbeitsgruppe vom Institut für Metallphysik und Nukleare Festkörperphysik der Technischen Universität Braunschweig danken und insbesondere den Mitarbeitern, die in der LE- μ SR aktiv geworden sind: Michael Birke, Hubertus Luetkens, Axel Schatz und Hans-Henning Klauf.

Literatur:

- [1] S.L. LEE et al., Phys. Rev. Letters **75**, 922 (1995)
- [2] J.E. SONIER et al., Phys. Rev. Letters **79**, 2875 (1997)
- [3] Y.J. UEMURA et al., Phys. Rev. Letters **66**, 2665 (1991)
- [4] J.L. TALLON et al., Phys. Rev. Letters **74**, 1008 (1995)
- [5] CH. NIEDERMAYER et al., Phys. Rev. Letters **80**, 3843 (1998)
- [6] H.H. KLAUF et al., Phys. Rev. Letters **85**, 4590 (2000)
- [7] E. MORENZONI et al., Hyp. Interact. **133**, 179 (2001)
- [8] CH. NIEDERMAYER et al., Phys. Rev. Letters **83**, 3932 (1999)
- [9] F. LONDON & H. LONDON, Proc. Roy. Soc. London A **149**, 71 (1935)
- [10] T.J. JACKSON et al., Phys. Rev. Letters **84**, 4958 (2000)
- [11] H. LUETKENS et al., Physica **B 326**, 545 (2003)
- [12] H. LUETKENS et al., Physica **B 289-290**, 326 (2000)
- [13] H. LUETKENS et al., Phys. Rev. Letters, eingereicht 2003

Prof. und Univ.-Präs. Dr.rer.nat. Jochen Litterst
 Institut für Metallphysik und Nukleare Festkörperphysik
 Technische Universität Braunschweig
 Mendelssohnstr. 3 · D- 38120 Braunschweig

MATTHIAS BOHNET, Braunschweig

Belagbildung auf Wärmetauscherflächen: Kann man sie verhindern?

Fouling on Heat Exchanger Surfaces: Can it be Prevented?

Braunschweig, 08.02.2002*

Abstract

A measure to reduce fouling is an extension of the induction time by a defined modification of interfacial interactions between heat transfer surface and crystalline deposit. Because these interactions are caused by molecular and mechanical forces, two approaches for fouling mitigation have been developed:

1. Modification of the energy related properties of the heat transfer surface.
2. Modification of the geometry related properties of the heat transfer surface.

Introduction

The formation of fouling layers on heat transfer surfaces is a severe problem for industry. Due to insulation these crystalline deposits contribute to the overall heat transfer coefficient deteriorating the performance of heat exchangers considerably [1].

The fouling process can be divided into two periods, induction and fouling period. Within the induction period the formation of stable nuclei at the heat transfer surface and the crystal growth takes place. In the succeeding fouling period an increase of the fouling resistance

$$R_f = \frac{1}{k_f} - \frac{1}{k_o} \quad (1)$$

due to scale formation can be measured, with k_f overall heat transfer coefficient for the fouled and k_o for the clean heat transfer surface.

Both induction and fouling period consist of a deposition and a removal process described by the deposition mass rate \dot{m}_d and the removal mass rate \dot{m}_r , respectively. The deposition mechanism of the induction period is a function of the nucleation rate, whereas the removal mechanism is mainly influenced by the adhesion between crystals and heat transfer surface as described in Fig. 1.

* Vortrag gehalten in der Klasse für Ingenieurwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.

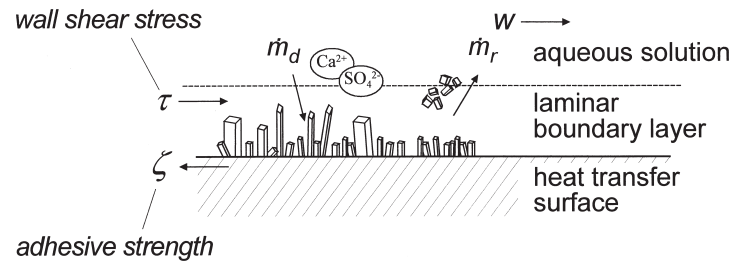


Fig. 1: Deposition and removal during the induction period

Modern anti-fouling strategies are based on approaches increasing the duration of the induction period and, hence, decreasing the adhesive strength of the crystals. In order to relate physical properties of the interface crystal/heat transfer surface to adhesion the interfacial interactions have to be analyzed.

Fig. 2 gives an overview of interactions playing a decisive role in adhesion. Oliveira [2] gave a detailed description of the relevant interactions.

Mechanical interactions can influence adhesion because single crystals will attach preferably at specific profile elements of the surface contour.

The description of molecular interactions are based on the assumption that dispersive and polar Lifshitz-van der Waals forces are predominant during the induction period. According to van Oss [3] Lewis acid-base interactions in salt solutions can cause anomalies in the theoretical interpretation of interfacial interactions referring to Lifshitz-van der Waals forces. For some materials repulsive electron donor-electron acceptor interactions based on the Lewis acid-base theory can develop. In addition, the commonly repulsive double layer forces due to the tendency of particular materials to acquire an electrical charge when immersed in polar media are important. Other molecular forces, e.g. caused by Born repulsion, can be neglected.

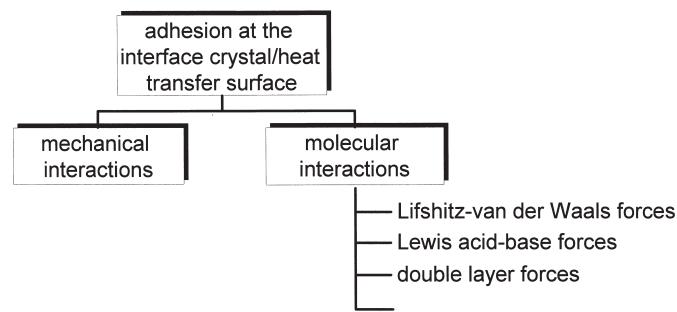


Fig. 2: Interfacial interactions influencing adhesion

Experiments

A better understanding of the key factors influencing the induction period may help to design more efficient heat exchangers. A mobile test unit including a plate heat exchanger has been built in order to validate fouling mitigation techniques which have been developed theoretically. A detailed description of the test unit has been given by Förster and Bohnet [4].

In order to evaluate the dependence of fouling behaviour on surface material during the induction period, the physical mechanisms taking place at the interface crystal/heat transfer surface have to be analyzed. An important parameter influencing molecular interactions is the interfacial free energy

$$\gamma_{ij} = \left(\frac{\partial G}{\partial A} \right)_{T,p} \quad (2)$$

defined as the total reversible work to create an interfacial area at the interface of the phases i and j . Here, G denotes the Gibbs free energy of the system, T the temperature and p the pressure. If the adjacent phase j is air or vacuum, γ_{ij} is also called “surface free energy” of phase i . In the following sections interfacial interactions are treated on the basis of an equilibrium of three phases in contact according to Fig. 3. A spherical droplet (phase 1) of a test liquid is resting on the heat transfer surface (phase 2) in a surrounding phase (phase 3). Here, the sign “~” is used to distinguish between interfacial energies referred to droplets and crystals.

Resolving the interfacial free energies given in Fig. 3 in horizontal direction leads to the Young equation:

$$\gamma_{23} = \gamma_{12} + \tilde{\gamma}_{13} \cdot \cos \theta_{12} \quad (3)$$

In order to calculate the surface free energy γ_{12} of the heat transfer surface, the succeeding procedure has to be carried out:

1. Determination of $\tilde{\gamma}_{13}$ which is the surface tension of the test liquid (pendant drop method or literature data).

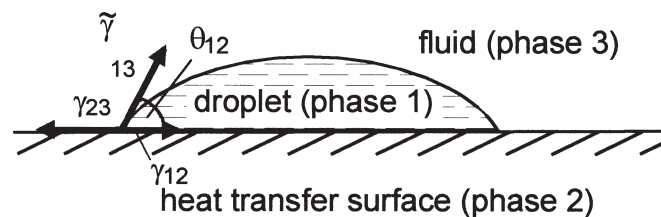


Fig. 3: Wetting equilibrium

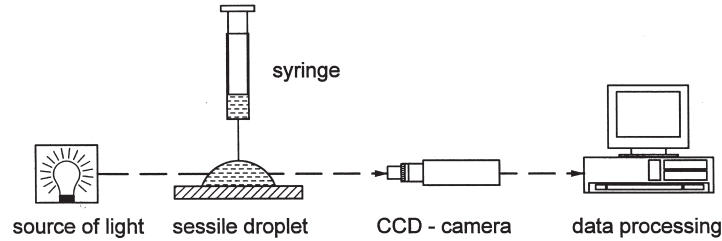


Fig. 4: DSA measurement device

2. Measuring the contact angle θ_{12} by DSA (drop shape analysis) as outlined in Fig. 4. Here, a droplet of a test liquid is placed upon the surface to be characterized. By means of a CCD camera and a data processing system the image of the liquid droplet is digitized. Afterwards, the contour of the droplet is analyzed with respect to the determination of θ_{12} which is the contact angle corresponding to the wetting equilibrium.
3. Substitution of the interfacial free energy between droplet and heat transfer surface γ_{12} in Eq. (3) using the geometric/harmonic mean or the Lewis acid-base approach according to Tab. 1: The restrictions of Eqs. (4-6) and the corresponding assumptions are discussed in detail by Förster and Bohnet [5].
4. Calculation of γ_{23} . DSA-measurements with at least two (geometric/ harmonic mean approach) or three test liquids (Lewis acid-base approach) enables to solve the system of equations.

In order to evaluate the influence of mechanical interactions at the interface crystal/heat transfer surface on the induction period of precipitation fouling, a measurement station for

Table 1: Calculation of γ_{12}

geometric mean method:

$$\gamma_{12} = \gamma_{13}^{LW} + \gamma_{23}^{LW} - 2\left(\sqrt{\gamma_{13}^{dis} \gamma_{23}^{dis}} + \sqrt{\gamma_{13}^{pol} \gamma_{23}^{pol}}\right) \quad (4)$$

harmonic mean method:

$$\gamma_{12} = \gamma_{13}^{LW} + \gamma_{23}^{LW} - 4\left(\frac{\gamma_{13}^{dis} \gamma_{23}^{dis}}{\gamma_{13}^{dis} + \gamma_{23}^{dis}} + \frac{\gamma_{13}^{pol} \gamma_{23}^{pol}}{\gamma_{13}^{pol} + \gamma_{23}^{pol}}\right) \quad (5)$$

Lewis acid-base approach:

$$\gamma_{12} = \gamma_{12}^{LW} + \gamma_{12}^{AB} = \left(\sqrt{\gamma_{13}^{LW}} - \sqrt{\gamma_{23}^{LW}}\right)^2 + 2\left(\sqrt{\gamma_{13}^{+} \gamma_{13}^{-}} + \sqrt{\gamma_{23}^{+} \gamma_{23}^{-}} - \sqrt{\gamma_{13}^{+} \gamma_{23}^{-}} - \sqrt{\gamma_{13}^{-} \gamma_{23}^{+}}\right) \quad (6)$$

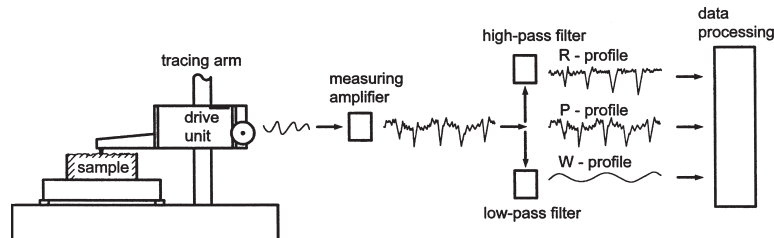


Fig. 5: Topography measuring unit

roughness, micro contours and topography has been used. The most important component is the high-precision drive unit featuring a motor-driven height adjustment for lowering and lifting the pick-up and for setting it to zero automatically. For the evaluation of surface contour the R-profile (roughness profile) is deployed which results by filtering the original P-profile (primary profile).

Influence of Surface energy on induction period

Fig. 6 shows the influence of surface material on both induction period and gradient of the fouling curve. The deployment of new surface materials such as DLC-coatings (diamond like carbon) proved to be a strategy to increase the duration of the induction period significantly.

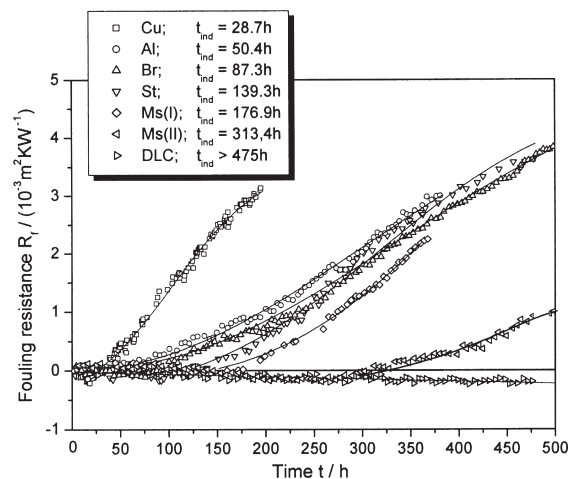


Fig. 6: Influence of surface material on fouling

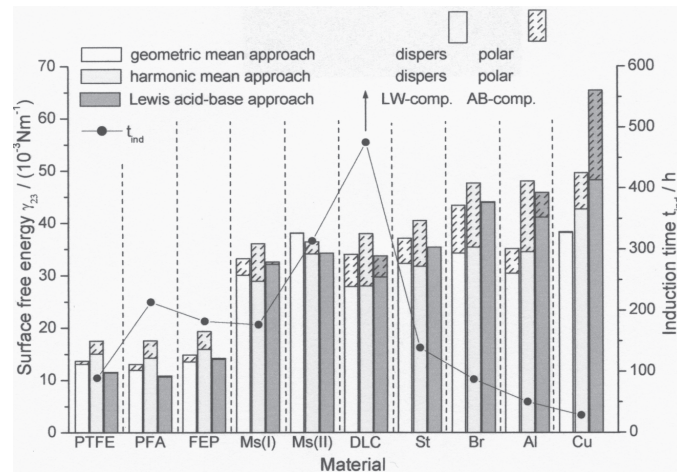


Fig. 7 Surface energy and induction time

In Fig. 7 the results of wetting experiments on metallic and polymeric heat transfer surfaces are summarized. In addition, the measured induction time t_{ind} is given. For the DLC coating, t_{ind} has to be extrapolated in the direction of the ordinate because no increase in fouling resistance versus time could be detected after 475h. The physical properties of the test liquids needed for the calculation of γ_{23} are taken from Förster, Augustin and Bohnet [6].

The comparison of surface energy data with induction time yields no correlation between surface energy and fouling behaviour. Thus, the choice of surface material with respect to least fouling occurrence cannot be based on surface properties of the heat transfer surface, only. In order to find the optimal surface material the adjacent crystalline deposit has to be taken into account since the latter phase also influences molecular interaction at the interface crystal/heat transfer surface.

Interfacial defect model

An approach to combine the energy related characteristics of heat transfer surface and deposit is the interfacial defect model. According to Fig. 8 the principles of wetting equilibria are used to describe crystallization.

Since the same phases interact with each other, the unknown interfacial energy γ_{13} corresponding to crystallization may be replaced by the interfacial energy fouling layer/heat transfer surface γ_{23} related to wetting experiments. The surface energies γ_{23} of both fouling layer (adhesive) and heat transfer surface (substrate) are accessible using the DSA measurement technique. Hence, the interfacial free energy adhesive/substrate γ_{12} can be calculated by the geometric mean, harmonic mean or Lewis acid-base method as described

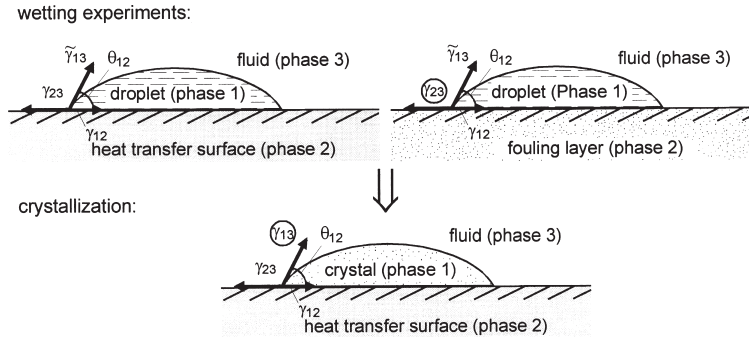


Fig. 8: Transferring the wetting model to describe crystallization during the induction period

by Förster and Bohnet, [5]. Using the Lewis acid-base method, the DSA on the adjacent side of a fouling layer yields

$$\gamma_{13}^{LW} = 46.17 \text{ mNm}^{-1}; \gamma_{13}^{AB} = 1.41 \text{ mNm}^{-1}, \gamma_{13}^{+} = 0.02 \text{ mNm}^{-1}; \gamma_{13}^{-} = 24.88 \text{ mNm}^{-1}; \gamma_{13} = 47.58 \text{ mNm}^{-1}$$

γ_{13}^{LW} and γ_{13}^{AB} are the Lifshitz-van der Waals and acid-base components of the total interfacial energy γ_{13} . γ_{13}^{+} and γ_{13}^{-} denote the electron acceptor and donator components.

The interfacial defect model is based on the definition of the spreading coefficient.

$$\lambda_{12} = \gamma_{23} - \gamma_{13} - \gamma_{12} \quad (7)$$

Increasing values of λ_{12} are accompanied by an improved wettability and, as a consequence, by an increase of the adhesive strength z due to less interfacial defects. The model is capable to relate wetting characteristics to the adhesive strength z as defined by Wu [7],

$$\zeta = C \cdot \left(1 - \frac{\lambda_{12}}{\gamma_{23}} \right)^{-1} \quad (8)$$

C refers to the mechanical properties of the system such as the Young's modulus. In Fig. 9 t_{ind} is presented as a function of λ_{12}

The plot includes data for metallic and polymeric heat transfer surfaces. The interfacial defect model seems to be valid for metallic heat transfer surfaces whereas the deployment of polymeric surfaces materials leads to a significant deviation of the corresponding data points from the regression curve. This can be explained by the influence of surface topography on precipitation fouling.

In order to mitigate heat exchanger fouling, the choice of surface material should lead to high negative values of λ_{12} .

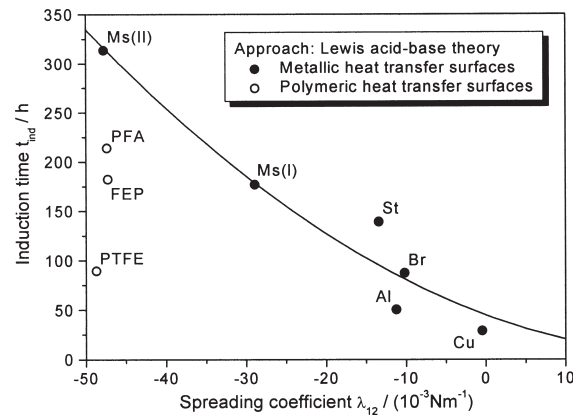


Fig. 9: Induction time versus spreading coefficient

Influence of Surface topography on induction period

In Fig. 10 the surface contour of stainless steel is compared with the surface contour of PTFE. Due to the width of profile elements of the PTFE surface the probability that crystals will attach increases. Besides wetting theories to describe adhesion, for polymer coatings the contribution of mechanical interactions caused by surface texture has to be considered.

As a first approach to describe the influence of surface topography on the induction period, the well known mean roughness depth R_Z is deployed. R_Z is the arithmetic mean value of the single roughness depths of five consecutive sampling lengths derived by one roughness measurement (Fig. 11):

$$R_Z = \frac{1}{5} \cdot \sum_{i=1}^5 Z_i \quad (9)$$

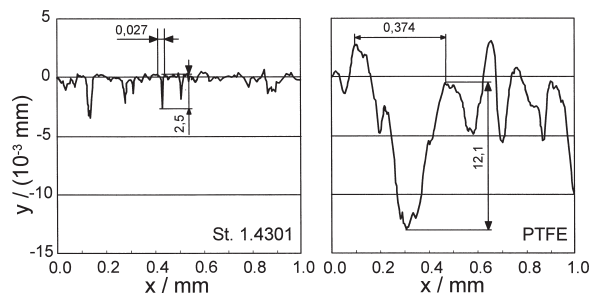


Fig. 10 Surface contours of a metallic and polymeric heat transfer surface

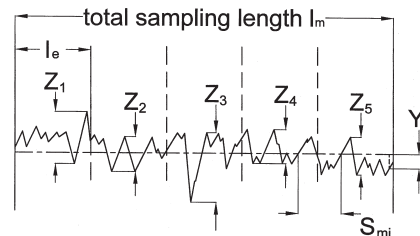


Fig. 11: Evaluation of the R-profile

Fouling experiments with various surface topographies have been carried out to examine the dependence of fouling behaviour on R_Z . The results according to Fig. 12 emphasize the importance of surface roughness for precipitation fouling.

Common surface texture parameters such as the mean roughness depth R_Z give only a poor description of the influence of surface geometry on fouling (Fig. 13). By means of R_Z the surface contour is described in vertical direction only, though widths of profile elements can serve as regions for preferred nucleation.

R_{Sm} has been chosen for the evaluation of surface geometry in horizontal direction. R_{Sm} is defined as the arithmetic mean value of the widths of profile elements:

$$R_{Sm} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n S_{mi} \quad (10)$$

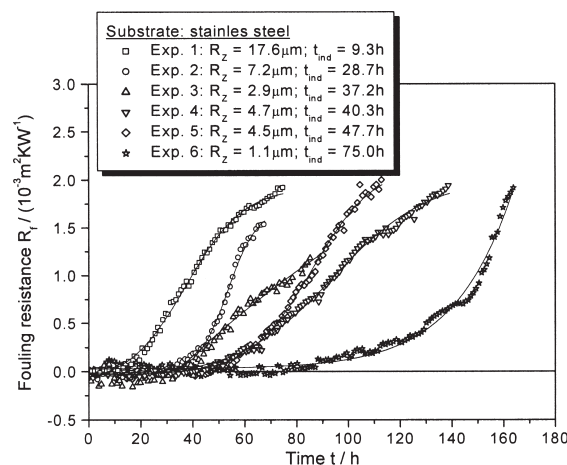


Fig. 12 Fouling resistance versus time as a function of surface roughness

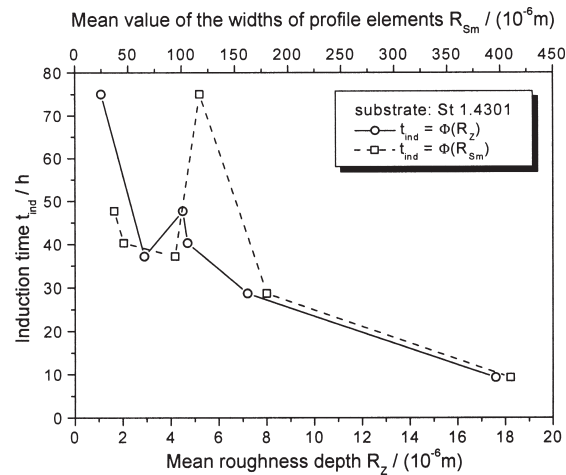


Fig. 13 Induction time as a function of single roughness parameters

According to Fig. 13, neither R_Z nor R_{Sm} correlates with t_{ind} . With respect to the interface model presented in Fig. 14 and various fouling as well as topographical experiments a new parameter for the description of the surface texture is proposed, which characterise both R_Z and R_{sm} :

$$K = R_z \cdot R_{sm} \quad (11)$$

Thus, a two-dimensional information of surface contour is received. Fig. 15 shows the dependence between t_{ind} and K for a stainless steel surface.

The electropolished steel substrate (experiment 6) is close to the optimum finish of an heat transfer surface. In order to mitigate heat exchanger fouling a small K -value has to be

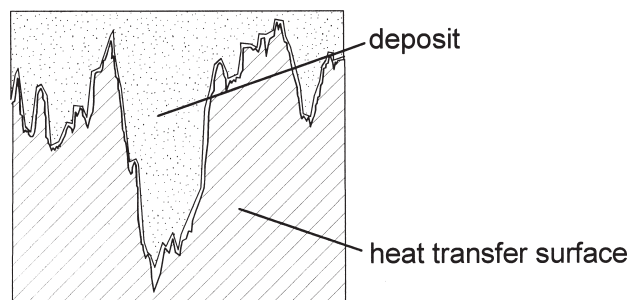


Fig. 14 Model of the interface between crystalline deposit and heat transfer surface

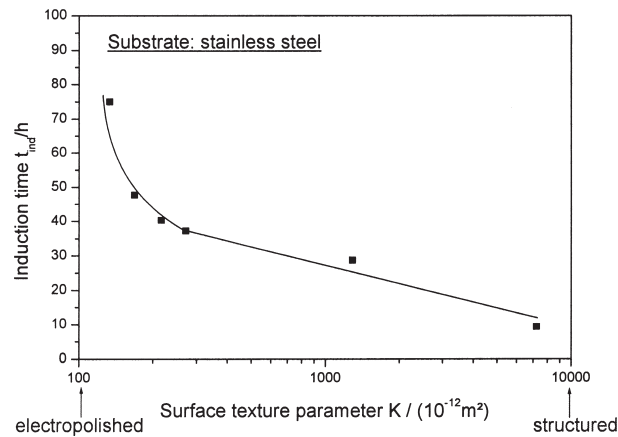


Fig. 15 Induction time versus surface texture parameter

realized. By means of Fig. 15 experiments with heat transfer surfaces having different surface energies and geometries can be related to a specific surface topography. In Fig. 16 the fouling experiments discussed so far are related to a surface texture parameter K , which describe technical roughness.

For metals and polymers the conclusion can be drawn that the Lewis acid-base approach is capable to describe the relationship between wetting and crystallization characteristics.

The molecular interactions between a DLC coated surface and the fouling layer ($\lambda_{12} = -16.9 \text{ mNm}^{-1}$, $t_{\text{ind}} > 475 \text{ h}$) cannot be described by the Lewis acid-base theory because interfacial interactions such as electrostatic double layer forces are predominant.

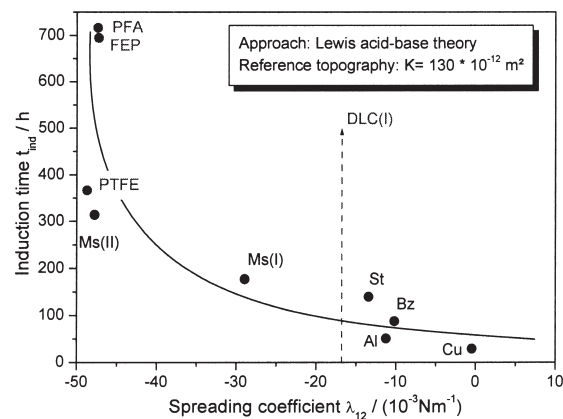


Fig. 16 Minimum induction time versus spreading coefficient

Conclusions and Prospect

For minimization heat exchanger fouling the interfacial defect model has been analyzed with respect to its ability to identify the optimal choice of surface material. Dispersive and polar Lifshitz-van der Waals forces as well as Lewis acid-base interactions have been considered by the introduction of a spreading coefficient. A two-dimensional surface texture parameter has been defined in order to make allowance for mechanical interactions due to surface topography. The spreading coefficient and the surface texture parameter allows an optimum selection of heat transfer surfaces.

Future research should contribute to the improvement of the description of interfacial interactions. Then, also double layer forces should be implemented.

Acknowledgement

The author thanks Dr. Markus Förster, now BASF AG, Ludwigshafen. Part of the presented results are based on his Ph.-D. Thesis at the Technical University of Braunschweig.

Financial support for this research work has been granted by “Deutsche Forschungsgemeinschaft”.

Nomenclature

C	constant, Nm^{-2}
G	Gibbs free energy, J
h	enthalpy, J
K	surface texture parameter, m^{-2}
\dot{m}	mass flow rate per unit area, $kgm^{-2}s^{-1}$
p	pressure, Pa
R_f	fouling resistance, m^2KW^{-1}
R_{Sm}	mean value of the widths of profile elements, m
R_Z	mean roughness depth, m
T	temperature, K
t	time, h
w	flow velocity, ms^{-1}
γ_{ij}	interfacial free energy between two adjacent phases i and j , Nm^{-1}
λ_{12}	spreading coefficient of adhesive 1 on substrate 2, Nm^{-1}
θ	contact angle, <i>degree</i>
ζ	adhesive strength, Nm^{-2}

Subscript

AB	Lewis acid-base
d	deposition
dis	dispersive
ind	induction period
LW	Lifshitz - van der Waals
pol	polar
r	removal
1	adhesive phase
2	substrate phase
3	surrounding phase
50	median value
~	test liquid
+	electron acceptor
-	electron donor

Abbreviations

Al	aluminium
Br	bronze
Cu	copper
DLC	diamond like carbon
DSA	drop shape analysis
FEP	fluorinated ethylene propylene
PFA	perfluoroalkoxy copolymer
Ms	brass
PTFE	polytetrafluor ethylene
St	stainless steel

References

- [1] MÜLLER-STEINHAGEN, H., *Handbook Heat Exchanger Fouling : Mitigation and Cleaning Technologies*, Publico Publ., Essen, 2000
- [2] OLIVEIRA, R., *Understanding Adhesion: A Means for Preventing Fouling*, Experimental Thermal and Fluid Science **14** (1991), pp. 319-322
- [3] VAN OSS, C. J., *Interfacial Forces in Aqueous Media*, Marcel Dekker, New York, 1994
- [4] FÖRSTER, M. & M. BOHNET, *Influence of the Interfacial Free Energy Crystal/Heat Transfer Surface on the Induction Period during Fouling*, Int. J. Th. Sci. (1999) **38**, pp. 944-954
- [5] FÖRSTER, M. & M. BOHNET, *Modification of Molecular Interactions at the Interface Crystal/Heat Transfer Surface to Minimize Heat Exchanger Fouling*, Int. J. Th. Sci. (2000) **39**, S. 697-708
- [6] FÖRSTER, M., W. AUGUSTIN & M. BOHNET, *Influence of the Adhesion Force Crystal/Heat Exchanger Surface on Fouling Mitigation*, Chem. Engng. Process. 38 (1999) **4-6**, pp. 49-461
- [7] WU, S., *Polymer Interface and Adhesion*, Marcel Dekker, New York, 1982

Prof. Dr.-Ing. Matthias Bohnet
 Otto-Hahn-Str. 45
 D-38116 Braunschweig

WERNER LEONHARD, Braunschweig

Netzeinspeisung aus regenerativen Quellen, ein Weg zur nachhaltigen elektrischen Energieversorgung?

Braunschweig, 08.03.2002*

Die mit hohen Subventionen verfolgte Strategie, regenerative Energie aus Wind und Sonne mit Priorität direkt in das Netz einzuspeisen, ist wegen der unterschiedlichen Verläufe des Leistungsangebotes und der Netzlast nicht zielführend; um die Einspeisung an den wechselnden Bedarf anzupassen, müssen auch die natürlichen Energiequellen in die Netzregelung eingebunden werden. Bei fossilen Regelkraftwerken verursacht der Ausgleich der fluktuierenden Windleistung zusätzliche Leistungsverluste, die einen Teil der erhofften Brennstoffeinsparung zunichte machen.

Langfristig sind bei Nutzung regenerativer Quellen große Energiespeicher notwendig, deren Entwicklung gleichrangig mit der primären Energiegewinnung vorangetrieben werden sollte; von besonderem Interesse könnten Speicher mit chemischen Energieträgern sein, wo die elektrische Endnutzung über ortsfeste oder mobile Brennstoffzellen erfolgen kann. Dies könnte eine Perspektive künftiger nachhaltiger Energieversorgung bieten.

Prof. em. Dr.-Ing., Dr. h.c. Werner Leonhard
Institut für Regelungstechnik
Technische Universität Braunschweig
Hans-Sommer-Str. 66 · D-38106 Braunschweig

* Kurzfassung eines Vortrags gehalten in der Klasse für Ingenieurwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.

GÜNTER PETER MERKER, Hannover

Hat der Verbrennungsmotor eine Zukunft?

Hannover, 31. 05.2002*

Die Mobilität unserer Mitmenschen ist in den letzten beiden Jahrhunderten ständig angestiegen und sie ist heute zu einem Begriff für persönliche Freiheit geworden. Dies lässt sich einfach veranschaulichen, wenn man sich die Strecke vor Augen hält, die ein Mensch im Mittel pro Tag zurücklegt. Vor 150 Jahren, also im Jahre 1850, waren das etwa 200 m. Als Transportmittel standen außer den eigenen Füßen nur das Pferd zur Verfügung. Die Eisenbahn steckte damals noch in den Kinderschuhen. 50 Jahre später legt der Mensch im Durchschnitt 1 km pro Tag zurück und die Eisenbahn ist zum Massentransportmittel avanciert. Wiederum 50 Jahre später, also 1950, liegt die durchschnittlich zurückgelegte Strecke bereits bei 10 km, die Eisenbahn, Busse, Pkw's und Motorräder sind die Transportmittel dieser Zeit. Mit dem Eintritt ins 3te Jahrtausend ist die durchschnittlich zurückgelegte Strecke auf etwa 70 km angestiegen, die Eisenbahn, insbesondere schnelle Fernzüge wie der ICE oder TGV und das Flugzeug, sind zu einem alltäglichen Transportmittel geworden. Das jedoch mit Abstand am meisten benutzte Transportmittel ist das Auto. Die neuen Verkehrsmittel d.h. Flugzeuge und Schnellbahnen nehmen einen nachgeordneten Platz ein. Ermöglicht wurde diese Entwicklung durch den weltweiten Anstieg des Pkw-Bestandes. Während der Weltfahrzeugbestand 1960 etwa 100 Millionen Fahrzeuge betrug, rechnet man für das Jahr 2010 mit einem Bestand von etwa einer Milliarde Fahrzeugen. Der Pkw-Bestand hätte sich damit innerhalb von 50 Jahren verzehnfacht!

Nutzfahrzeuge und Personenkraftwagen werden heute praktisch ausnahmslos durch Verbrennungsmotoren angetrieben. Lassen Sie mich deshalb im folgenden zunächst die Entwicklung des Verbrennungsmotors kurz skizzieren:

1673 schlug CHRISTIAN HUYGENS die Verwendung einer Wärmekraftmaschine mit Arbeitskolben und *innerer Verbrennung* zum Heben von Wasser aus der Seine in die Gärten von Versailles zum Betrieb der Wasserspiele vor. Als Brennstoff für diese sog. „Pulvermaschine“ verwendete man Schießpulver. Nicht zuletzt wegen des enormen „Lärms“ konnte sich diese erste Wärmekraftmaschine nicht durchsetzen. Ludwig XIV gab schließlich den Bau von Wasserrädern in der Seine in Auftrag.

Ein wesentliches Problem im 17. Jahrhundert war die Entfernung des Wassers im Bergbau. Beim Abbau von Erz und Kohle überstieg die Menge des anfallenden Wassers oft ein vielfaches des zu fördernden Gutes. Die Trockenlegung der Schächte war sozusagen „Pflicht“, die Wasserspiele an Fürstenhofen dagegen „Kür“, wenn auch die zur Verfügung stehenden Geldmittel dieser Einteilung nicht immer gerecht wurden.

* Kurzfassung eines Vortrags gehalten in der Klasse für Ingenieurwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.

1690 verwendete DENIS PAPIN erstmals Wasserdampf statt Schießpulver als Arbeitsmedium. Die Weiterentwicklung führte schließlich mit James Watt Ende des 18ten Jahrhunderts zur *Dampfmaschine*.

Den ersten *Gasmotor* mit elektrischer Zündung und handbetätigten Gaswechselorganen hat 1805 ISAAC DE RIVAZ vorgestellt. 1876 stellte schließlich NICOLAUS AUGUST OTTO den ersten betriebsfähigen Viertaktgasmotor vor, bei dem ein verdichtetes Kraftstoff-Luft-Gemisch elektrisch gezündet wurde. Dieser Motor erreichte bei einem effektiven Wirkungsgrad von 15% eine Nutzleistung von 2,2 kW. Ab 1886 bauten NICOLAUS AUGUST OTTO (Kaufmann), GOTTLIEB WILHELM DAIMLER (Technischer Direktor) und WILHELM MAYBACH (Konstrukteur) schnelllaufende Ottomotoren mit Glühzündung. Diese sog. Vergasermotoren verwendeten flüssigen Kraftstoff.

Die Geschichte des *Dieselmotors* begann vermutlich mit der 1824 erschienenen Arbeit von NICHOLAS-LEONARD SADI CARNOT über die Theorie der thermodynamischen Prozesse. RUDOLF CHRISTIAN KARL DIESEL fasste den Entschluss, den bisher lediglich theoretisch formulierten „Prozess mit höchster Wärmeausnutzung“, den sog. Carnot-Prozeß in einer neu zu entwickelten Wärmekraftmaschine praktisch zu verwirklichen. 1892 wurde ihm dafür ein Patent über „Arbeitsverfahren und Ausführungsart für Verbrennungskraftmaschinen“ erteilt. 1893 stellte Rudolf Diesel den ersten Versuchsmotor vor und drei Jahre später lief dann der erste Motor mit einer Nutzleistung von 13 kW bei einem effektiven Wirkungsgrad von 26%.

Seitdem hat der Dieselmotor, auch ganz allgemein der Verbrennungsmotor, eine stürmische Entwicklung erfahren. Durch die Diskussion um die von Verbrennungsmotoren „emittierten Schadstoffe“ ist der Verbrennungsmotor ins „Gerede“ gekommen. Die kritischen Schadstoffkomponenten beim Dieselmotor sind NO und Ruß; beim Ottomotor dagegen unverbrannte Kohlenwasserstoffe und Kohlenmonoxid. Die Grenzwerte für die gesetzlich limitierten Schadstoffkomponenten werden weiter abgesenkt werden. Die Einhaltung dieser Randbedingungen wird die Motorenhersteller vor große Herausforderungen stellen.

Damit stellt sich zwangsläufig die Frage: Lohnt sich die weitere sukzessive Verbesserung des bekannten Verbrennungsmotors oder ist es eventuell wirtschaftlicher, alternative Antriebssysteme ins Auge zu fassen.

Vor etwa 150 Jahren sagte der Visionär Jules Verne: „*Ich glaube, dass eines Tages Wasserstoff und Sauerstoff, aus denen sich Wasser zusammensetzt, alleine oder zusammen verwendet eine unerschöpfliche Quelle von Wärme und Licht bilden werden.*“ Ist diese Vision bereits Realität geworden ist, hat die Zukunft bereits begonnen? Während heute die Einhaltung der Grenzwerte für die gesetzlich limitierten Schadstoffe eine entscheidende Rolle bei der weiteren Entwicklung von Antriebsaggregaten spielt, wird in Zukunft die Reduzierung der CO₂-Emission zunehmend an Gewicht gewinnen. In etwa 20 Jahren wird jedoch die Verknappung konventioneller Energiequellen zusammen mit dem ansteigenden Weltenergieverbrauch der Entwicklung hocheffizienter Antriebssysteme eine hohe Priorität verleihen. In diesem Zusammenhang wird dem Wasserstoff-Brennstoffzellen Antrieb allgemein ein hohes Potential eingeräumt. Als „Brennstoff“ wird Methanol (im Idealfall reiner Wasserstoff) zugeführt, aus dem mittels eines Reformers Wasserstoff

gewonnen wird, als „Oxidator“ Luft bzw. Sauerstoff. Bei der Oxidation des Wasserstoffs zu Wasser wird elektrischer Strom erzeugt.

Im Hinblick auf die CO_2 -Emission wäre die mit reinem Wasserstoff betriebene Brennstoffzelle der optimale Antrieb, die CO_2 -Emission dafür ist nämlich gleich Null. Im Hinblick auf die CO_2 -Emission ist es jedoch nicht ausreichend nur das Fahrzeug selbst zu betrachten, man muss auch die Herstellung des Kraftstoffs mit in Betracht ziehen, also die gesamte Kette vom „Bohrloch bis zum Reifen“ bilanzieren.

Das Ergebnis dieser Gesamtbilanzierung zeigt, dass die mit aus Erdgas gewonnenem Wasserstoff betriebene Brennstoffzelle im Hinblick auf die CO_2 -Emission keine Vorteile bietet. Diese Gesamtbilanz zeigt weiter, dass der Dieselmotor allen anderen alternativen Antriebssystemen eindeutig überlegen ist und darüber hinaus noch ein beachtliches Entwicklungspotential aufweist.

Insgesamt ergibt sich damit folgendes Szenario für die Zukunft des Verbrennungsmotors:

Durch sinnvolle Kombinationen einzelner Maßnahmen, erscheint eine Senkung des Benzinverbrauchs um 50% und des Dieserverbrauchs um 30% bis zum Jahr 2010 durchaus realistisch.

Die heutigen Otto- und Diesel-Brennverfahren dürften als klar unterschiedliche Brennverfahren in etwa 15 Jahren *durch ein neues Brennverfahren, eine Symbiose aus Otto- und Dieserverfahren* abgelöst werden.

Ab 2015 könnte dafür ein aus *Biomasse* gewinnbarer *neuer synthetischer Brennstoff* zur Verfügung stehen.

Ab etwa 2020 könnten erste Vorserienfahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieben und Wasserstoff als Kraftstoff produziert werden (zu lösendes Problem: Kostengünstige Herstellung und Speicherung von Wasserstoff).

Ab 2030 könnte der Serienanlauf von Brennstoffzellen-Antrieben beginnen und ab 2040 könnten Brennstoffzellen-Antriebe einen nennenswerten Marktanteil haben.

Der Verbrennungsmotor bleibt damit das dominierende Antriebsaggregat für die nächsten 40 Jahre. Alternative Kraftstoffe wie Rapsöl, Erdgas und Wasserstoff kommen als Brennstoffe nur für Nischenmärkte in Frage.

ROLF ERNST, Braunschweig

MpSoC, IP und Plattformen oder wie nutzt man 1 Milliarde Transistoren?

Braunschweig, 11.10.2002*

Die exponentielle Zunahme der Komplexität integrierter Schaltungen um den Faktor 3 bis 4 alle 3 Jahre hält seit den 60er Jahren ungebrochen an. So wird etwa für Speicher eine Steigerung der Komplexität von circa 540 Millionen Transistoren pro integrierte Schaltung im Jahr 2001 auf 64 Milliarden Transistoren in 2016 erwartet. Längst hat sich eine ganze Industrie planerisch auf die Kontinuität dieser rasanten Entwicklung eingestellt. In der „ITRS Roadmap“ werden für mehr als ein Jahrzehnt die jährlich zu erzielenden Strukturgrößen und Fertigungsprozesse festgelegt [ITR01].

Weit weniger strukturiert entwickelt sich die Nutzung der daraus verfügbaren Schaltungskapazität. In größeren zeitlichen Abständen bilden sich als „Design Gap“ bezeichnete Umbruchsphasen im Entwurf heraus, in denen die Entwurfsproduktivität der Zunahme der Schaltungskomplexität nicht mehr folgen kann und eine Abkehr von eingeführten Entwurfsmethoden erzwingt. Mittlerweile wurde der Übergang zu einem komponentenbasierten Entwurstil vollzogen, bei dem große Teile früherer Entwürfe nahezu unverändert übernommen und über komplexe Kommunikationsstrukturen miteinander verbunden werden. Darauf aufbauend hat sich eine Zulieferindustrie entwickelt, die Halbleiterfirmen mit Komponentenentwürfen, sogenannten IP-Komponenten, beliefert, welche quasi als Blaupausen übernommen und an die jeweilige Technologie angepasst werden. Bei dieser Arbeitsteilung lohnt es sich, Komponenten zu optimieren, beispielsweise auf einen niedrigen Stromverbrauch, der bei zunehmender Mobilität der Informationstechnik entscheidend für die Wettbewerbsfähigkeit einer integrierten Schaltung wird.

Als Folge dieser Entwicklung weisen neuere Chipentwürfe eine heterogene Struktur aus unterschiedlichen Prozessoren, Coprozessoren und Speichern auf, die zu hochintegrierten „Multiprocessor Systems-on-Chip“ (MpSoC) zusammengesetzt werden. Derartige MpSoC finden sich beispielsweise in neueren Mobiltelefonen, Set-Top Boxen oder in integrierten Netzwerkprozessoren, die ein neues Marktsegment der Telekommunikation bilden.

Entsprechend der Hardware entwickelt sich auch die Softwarearchitektur zu einem heterogenen und vielschichtigen Gefüge von konfigurierbaren Komponenten mit den gegenläufigen Zielen einer effizienten Nutzung der Hardware und einer einfachen Programmierung der Anwendung, also etwa der Sprachverarbeitung in einem Mobiltelefon. Der Korrektheitsnachweis derart komplizierter Hardware-Softwareentwürfe ist zu einem zentralen Problem des Systementwurfs geworden.

* Kurzfassung eines Vortrags gehalten in der Klasse für Ingenieurwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.

Die MpSoC, die in Mobiltelefonen, Fahrzeugen oder in der Konsumelektronik zum Einsatz kommen, zählen zu den eingebetteten Systemen. Darunter versteht man allgemein ein (Mikro-)Computersystem, das in ein technisches System „eingebettet“ ist, das selbst nicht als Computer erscheint. Die Funktionen dieser eingebetteten Systeme definieren heute zu einem großen Teil die Eigenschaften von Industrieprodukten, die ohne sie kaum noch konkurrenzfähig realisierbar wären. Damit lastet eine erhebliche Verantwortung auf dem Entwurf dieser Systeme, die oft sicherheits- oder zeitkritische Funktionen übernehmen, etwa in der Fahrzeugtechnik, der Medizinelektronik oder der Telekommunikation. Der Entwurf unterliegt damit schärferen Qualitätsanforderungen als im Fall von PC-Prozessoren und ihrer Software.

Dem Korrektheitsnachweis solcher Systeme kommt folglich eine zentrale Rolle zu. Dabei wird der implementierungsunabhängige Nachweis der korrekten Funktion eines Systems unterschieden vom Nachweis einer ausreichenden Performanz, d.h. der hardware-abhängigen Einhaltung von Zeitbedingungen, der Vermeidung von Überlastsituationen und von Überläufen der internen Informationsspeicher. In beiden Fällen erforscht man neben dem in der Praxis heute üblichen Korrektheitsnachweis durch Simulation auch formale Beweisverfahren. Während sich die formale Verifikation von Hardwarefunktionen in der Folge des enorm kostspieligen, sogenannten „Pentium bug“ (einem fehlerhaften Rechenwerk im Pentium-Prozessor der Firma Intel) auch schon in der Praxis zunehmend Verwendung findet, steht der sehr komplizierte formale Nachweis der Performanz noch am Anfang seiner Entwicklung. Der Performanznachweis wird erschwert durch die sehr komplizierten Prozessorarchitekturen, die Berechnungsschritte automatisch parallelisieren und damit ihre Ausführungsreihenfolge vertauschen können, und die hierarchischen Informationsspeicher mit enorm komplexer Zugriffssteuerung [Fer+01]. In der Folge können zeitliche Anomalien entstehen, die in bestimmten Situationen plötzlich zu einer erheblichen Verlangsamung der Programmausführung führen können, die durch Simulation kaum erkennbar ist, die aber auch die Entwicklung formaler Modelle vor große Herausforderungen stellt [LuSt99]. Ein zweites Problem ist die Heterogenität der Hardware- und Softwarestrukturen, die zu sehr unterschiedlichen Datenflüssen in einer integrierten Schaltung führt, die wiederum über ein gemeinsames Kommunikationsmedium (einen oder mehrere sogenannte Busse) übertragen werden. Auch hier treten Anomalien auf, die zu sporadischen Ausfällen führen können [RiEr02]. Dies ist gerade bei der Integration von Komponenten ein kniffliges Problem. So wird eine Komponente üblicherweise für den ungünstigsten Fall spezifiziert, in dem die größte Laufzeit auftritt. Sendet diese Komponente aber wiederholt Daten über ein gemeinsames Kommunikationsmedium, so wird bei gleicher Datenmenge pro Ausführung die Last bei kurzer Ausführungszeit am höchsten sein. Der günstigste Fall der Komponenten wird damit zum ungünstigsten Fall des Systems. Noch komplizierter wird der Ablauf bei Softwareprozessen, die sich in ihrer Ausführung unterbrechen, wie dies in der Echtzeitdatenverarbeitung üblich ist, um eine Priorität von Aufgaben mit unterschiedlichen „Deadlines“ zu realisieren.

Ansätze zur formalen Analyse derartiger komplexer MpSoC-Architekturen sind derzeit noch rar. Es gibt „holistische“ Ansätze, die eine geschlossene Darstellung suchen [PEP02], und Ansätze, die mit formaler Kopplung heterogener Komponentenmodelle arbeiten

[CEK+02]. Zur letzteren Gruppe zählen die Arbeiten am Institut für Datentechnik und Kommunikationsnetze [RiEr02, RZJ+02]. Die Grundidee ist dabei eine Kopplung bekannter Analyseverfahren [But02] für individuelle Komponenten zu einer Gesamtanalyse, wobei die Analyseverfahren in der gleichen modularen Weise gekoppelt werden wie die Komponenten selbst. Mit diesem Verfahren können auch sehr komplexe heterogene MpSoC analysiert werden. In verschiedenen Projekten mit der Industrie werden gegenwärtig Anwendungsszenarien dieser Verfahren praktisch erprobt [JRE03].

Die nächste Herausforderung des Entwurfs integrierter Schaltungen liegt im zunehmenden Einfluss der Laufzeiten über die chipinternen Verbindungen auf die Eigenschaften eines MpSoC. Bereits heute liegen die Laufzeiten längerer Leitungen um ein Vielfaches höher als die Schaltzeiten der Transistoren. Dieser Abstand wird künftig weiter wachsen. Man benötigt daher neue Entwurfsverfahren, die Hardwarekomponenten auf ein optimiertes Kommunikationsnetzwerk anpassen und nicht umgekehrt vorhandene Hardwarekomponenten über ein Kommunikationsnetzwerk integrieren, wie dies bislang in der Chipentwicklung der Fall war. Dieser kommunikationszentrierte Entwurf stellt einen neuen Trend mit intensiven Forschungsaktivitäten dar [ITR01, BeDM02]. Dabei greift man gern auf Konzepte der Telekommunikation zurück, der diese Fragestellung lange vertraut ist.

Literatur:

- [BeDM02] L. BENINI & G. DE MICHELI, *Networks on chips: a new SoC paradigm*. IEEE Computer, Vol. **35** (1), pp. 70-78, Jan. 2002.
- [But02] G. BUTTAZZO, *Real-Time Computing Systems - Predictable Scheduling Algorithms and Applications*, Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [CEK+02] S. CHAKRABORTY, T. ERLEBACH, S. KÜNZLI & L. THIELE, *Schedulability of Event-Driven Code Blocks in Real-Time Embedded Systems*. In: Proc. 39th Design Automation Conference (DAC02), pp. 161-621, New Orleans, USA, 2002.
- [Fer+01] CH. FERDINAND et al., *Reliable and Precise WCET Determination for a Real-Life Processor*. Embedded Software Workshop, Springer LNCS 2211, pp. 469ff., Lake Tahoe, USA, Oct. 2001.
- [ITR01] J. ADAM et al., *International technology roadmap for semiconductors (ITRS) 2001*, <http://public.itrs.net>.
- [JRE03] M. JERSAK, K. RICHTER & R. ERNST, *Formal Methods for Integration of Automotive Software*. To Appear: Proc. Design Automation and Test in Europe Conference 2003 (DATE03), Munich, March 2003.
- [LuSt99] TH. LUNDQVIST & P. STENSTRÖM, *Timing Anomalies in Dynamically Scheduled Microprocessors*. Proc. 20th IEEE Real-Time Systems Symposium, pp.12ff, Dec. 1999.
- [PEP02] T. POP, P. ELES & Z. PENG, *Holistic Scheduling and Analysis of Mixed Time/Event-Triggered Distributed Embedded Systems*. In: Proc. 10th Internatio-

nal Symposium on Hardware/Software Codesign (CODES02), pp. 187-192, Estes Park, CO, USA, 2002.

[RiEr02] K. RICHTER & R. ERNST, *Event Model Interfaces for Heterogeneous System Analysis*. Proc. Design Automation and Test in Europe Conference 2002 (DATE02), pp. 506-513, Paris, March 2002.

[RZJ+02] K. RICHTER, D. ZIEGENBEIN, M. JERSAK & R. ERNST, *Model Composition for Scheduling Analysis in Platform Design*. Proc. 39th Design Automation Conference (DAC 2002), pp. 854 –861, New Orleans, June 2002.

Prof. Dr.-Ing Rolf Ernst
Ellernbruch 12 B
D-38112 Braunschweig

CHRISTIAN HEIPKE, Hannover

Können Computer sehen? – Automatische Bildanalyse in Photogrammetrie & Fernerkundung

Braunschweig, 08.11.2002*

Bilder spielen in unserer Gesellschaft eine immer wichtigere Rolle, man denke nur an die immer häufiger zu sehenden Videokameras, an Computerspiele, das aufkommende digitale Fernsehen oder den täglichen Wetterbericht in den Nachrichten. *Ein Bild sagt mehr als 1000 Worte*, dieses bekannte chinesische Sprichwort beschreibt auch viel von der Faszination, die von Photogrammetrie & Fernerkundung ausgeht. In der Vergangenheit wurden Luft- und Satellitenbilder vor allem zur Erzeugung topographischer Karten eingesetzt, heute dienen sie z. B. zur Erfassung und Laufendhaltung von Geoinformationen, die für unterschiedlichste Anwendungen benötigt werden. Genannt seien hier nur die Stichworte 3D Stadtmodelle, Fahrzugnavigation und die Funknetzplanung im Mobilfunk. Im Zentrum des Interesses stehen dabei digitale Bilder verschiedenster Sensorsysteme, die Automatisierung der Auswertung mit dem Ziel, möglichst nah an die Interpretationsleistung des Menschen zu gelangen, sowie die Nutzung der abgeleiteten Produkte in unterschiedlichen traditionellen und innovativen Anwendungen. Wesentliche Charakteristika von Photogrammetrie & Fernerkundung sind die berührungslose Aufnahme, die kurze Aufnahmedauer und damit die Möglichkeit zur Erfassung dynamischer Prozesse, die umfassende flächenhafte und bildliche Dokumentation der aufgenommenen Szene, die Auswertung in drei Dimensionen sowie die Möglichkeit, fast beliebig große Objekte zu bearbeiten. So werden photogrammetrische und fernerkundliche Methoden für verschiedenste Zwecke von der Rasterelektronenmikroskopie bis hin zur Beobachtung ganzer Planeten eingesetzt.

Warum sagt uns Menschen ein Bild mehr als 1000 Worte? Eine von vielen möglichen Antworten liefert die Beobachtung, dass wir eine Szene in Windeseile mit den Augen aufnehmen (sehen) und genauso schnell interpretieren. Wir Menschen können die in Bildern implizit enthaltene Information also in Echtzeit verstehen und damit explizit machen. Diese Tätigkeit scheint uns keine spürbaren Schwierigkeiten zu bereiten, allerdings können wir nicht angeben, wie wir diese Aufgabe bewerkstelligen. Die automatische Bildanalyse beschäftigt sich mit der Fragestellung, in wie weit die Ergebnisse der menschlichen visuellen Wahrnehmung im Rechner nachgebildet werden können. Nach einer bereits über 20 Jahre alten Definition des Amerikaners Arziel Rosenfeld ist die Bildanalyse die „automatische Ableitung einer expliziten und bedeutungsvollen Beschreibung von Objekten der realen Welt mit Hilfe von Bildern“. Die Vorarbeiten zur Bildanalyse stammen vor allem aus der Informatik, insbesondere aus den Bereichen der Bildverarbeitung, der formalen Wissens-

* Kurzfassung eines Vortrags gehalten in der Klasse für Ingenieurwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.

repräsentation und -verarbeitung und der Mustererkennung, sowie aus der Elektrotechnik. Als ein wichtiges Ergebnis der Bildanalyse wurde schon bald erkannt, dass ein Rechner Objekte in Bildern nur wiedererkennen kann, sie also bereits vorher kennen muss. Dies bedeutet, dass dem Rechner vorab Modelle der in den Bildern dargestellten Objekte zur Verfügung gestellt werden müssen. Welcher Art diese Modelle sein müssen und wie das Modellwissen zu repräsentieren ist, sind derzeit aktuelle Fragen von Forschung und Entwicklung.

In dem Vortrag wurde der Stand der automatischen Bildanalyse am Beispiel von Photogrammetrie und Fernerkundung dargestellt. Anhand der automatischen Erfassung und Überprüfung von Straßennetzen und einzelnen Bäumen aus Luftbildern wurde gezeigt, welche Aufgaben sich automatisieren lassen, und wann der menschliche Operateur in den Auswerteprozess eingreifen muss. Zum Abschluss wurden die Perspektiven von Photogrammetrie und Fernerkundung kurz umrissen.

Prof. Dr. Christian Heipke
Institut für Photogrammetrie und GeoInformation
Universität Hannover
Nienburger Str. 1 · D-30167 Hannover

EVA JOHANNA ENGEL HOLLAND, Wolfenbüttel

Moses Mendelssohn: Die Doppelexistenz des Philosophen

Braunschweig, 08.02.2002*

Wer von uns weiß heute noch, dass dieser “Sokrates der 18. Jahrhunderts”, der nach 1728 nur 57 1/3 Jahre lebte, ebenso sehr als Algebraist und Handelsmann anerkannt und hoch geschätzt war?

So rundet das Leben dieses körperlich und sozial benachteiligten Juden gleichzeitig ein gewichtiges Kapitel der Geschichte Brandenburs Preußens.

– Und zwar zu einer Zeit, als die kleine Königtum noch immer an den Folgen des Dreißigjährigen Krieges krankte und dem Bankrott nahe war.

Somit kamen viele ökonomische, historische, politische Tatsachen ins Spiel, die an diesem Geschehen beteiligt waren, als der 14jährige aus seiner Vaterstadt Dessau 1743 seinem Lehrer, dem gerade ernannten Oberrabbiner Brandenburs, ins Ausland, nach Berlin, folgte. Dies zu einer Zeit, wo seit 1740 die Juden im Lande des Philosophenkönigs Friedrich II durch die schmählische Neuabfassung des Judenreglements¹ unter entwürdigenden Bedingungen existierten.

Trotzdem war und wurde dies ein ungewöhnlich günstiger Zeitpunkt in der Geschichte Brandenburs. Denn die Hauptstadt verfügte, trotz aller physischen und sozialen Nachteile, über ein sehr reges intellektuelles Klima, hauptsächlich dank des Einflusses der Hugenottischen Immigranten.

I.

Denn 1696 hatte der Große Kurfürst nach dem Widerruf des Edikts von Nantes, das Hugenotten der religiösen Glaubensfreiheit beraubte, 500 Flugblätter nach Frankreich schicken lassen. Diese enthielten die Zusage der Aufnahme und Existenzmöglichkeit, unter der Bedingung, dass sie die nötigen Kenntnisse zur Herstellung von Seiden und Samt mitbrächten. Da man jedoch nicht erwarten konnte, dass die Flüchtlinge imstande waren, auch die nötigen Apparaturen mitzubringen oder technisches Personal bezahlen zu können, benötigte der Regent zahlungskräftige Einwanderer. Er wandte sich nach Wien, wo den dortigen Juden samt und sonders Ausweisung drohte, und erklärte sich bereit, 50 'wohlhabende' Juden aufzunehmen, solange sie reichliche Geldmittel nachweisen konnten. – Das geschah nach dem 21. Mai 1691.

¹ Mirabeau bezeichnet es als “digne d’un cannibale”.

* Vortrag gehalten in der Klasse für Geisteswissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.

Während der Regierungszeit Friedrichs II wurde aus diesen Anfängen die wichtigste Industrie Brandenburgs. Dokumentarische Unterlagen ergeben sich aus dem politischen Testament, das der Vierzigjährige zwischen April und Juli 1752, im zwölften Jahr seiner Regierung, verfasste.

Die erste Pflicht eines Bürgers ist, seinem Vaterland zu dienen, das ist eine Verpflichtung, der ich in allen unterschiedlichen Stadien meines Lebens nachzukommen versucht habe. Mit der – wie es bei mir der Fall ist – höchsten Staatsgewalt betraut, habe ich die Gelegenheit und die Mittel gehabt, mich meinen Mitbürgern nützlich zu erweisen [...] was ich durch die Erfahrung gelernt habe, einem Steuermann gleich, der die stürmischen Gewässer im Meer der Politik kennt; ich versuche die Klippen zu zeigen, denen sie ausweichen muß, und die Häfen, in denen sie Zuflucht finden kann.

Der Regent verweist auf die ihm wichtigsten Punkte: 1. Die Rechtspflege, 2. kluge Finanzwirtschaft, 3. die Wahrung militärischer Disziplin, und 4. die Kunst, die zutreffenden Maßnahmen zu ergreifen, um die eigenen Interessen zu fördern, die man Politik nennt. Sein Anliegen ist “das entsetzliche Unheil” des Dreißigjährigen Krieges zu bessern. Hierzu gehören die finanziellen Maßnahmen und die Erschließung von Neuland durch Kanäle, um Sümpfe zu entwässern, Ödland in Pommern und im Oderbruch zu neuem Blühen zu verhelfen und, vor allem, der Seidenbau.

Zur Seidengewinnung aber braucht man Seidenraupen, Mittel sie zu füttern, Kenntnis um diese Seidenzucht zu erlernen. Woher bekam man die Seidenraupen, und woher deren notwendige Nahrungsmittel: die Blätter des Maulbeerbaums? Und würden solche tropischen Gewächse das Klima des Nordens ertragen?

Auch hier gibt das Politische Testament Friedrichs II Auskunft:

Der Große Kurfürst hatte große Mengen von Maulbeerbäumen auf fast allen Friedhöfen der Mark anpflanzen lassen. Diese Maulbeerbäume hatten die Winter von 1709 und 1740 ausgehalten. In kleiner Zahl hatten einige Privatleute Seide hergestellt.

Auf Grund dieser Tatsache ließ sich leicht der Schluss ziehen, daß die Kälte den Maulbeerbäumen nicht schaden würde, und daß das, was einige Private im Kleinen betrieben, im Großen Erfolge haben könnte. Daraufhin ließ man erneut Maulbeerbäume anpflanzen, alle Gemeinden wurden genötigt, welche zu kultivieren, die Amtmänner bei Erneuerung ihrer Pachtverträge verpflichtet, eine gewisse Anzahl davon anzupflanzen, und nun gibt es deren über 400 000 kleine und große im Land, außer denen, die immer neu angepflanzt werden.

Statt 200 Pfund Seide, die man gewann, produzieren wir 2000 Pfund, und diese sollen sich noch beträchtlich erhöhen. – Aus den Acciselisten ist zu ersehen, daß alle Provinzen zusammen pro Jahr mehr als 400 000 Thaler für Seide ausgeben², wenn wir also 40 000 oder 50 000 Pfund Seide gewönnten, würde der Staat pro Jahr reicher, die die einzelnen Bürger würden [...] ihren Wohlstand heben.

Um diese schwachen Anfänge zu fördern, lass ich die Seide aus unserer Ernte ebenso teuer verkaufen, wie die aus Italien; ich verteile Prämien an die Dorfpfarrer, die meiste Seide gewonnen haben, und Vergünstigungen an diejenigen, die Maulbeerbäume pflanzen.

² Seide wurde für Kleidung gebraucht, für Unterlagen für Knöpfe, Schleifen und Bänder, um die Kleider wechselnder Mode anzupassen. Außerdem wurden Seidenstoffe für Wandbehänge verwendet und in bescheidenem Maße für Seidenstrümpfe.

Nun müssen die Bauern lernen, wann sie die Cocons pflücken müssen, wie diese aufgewickelt und gesponnen werden sollen, ehe man aus dem Garn Tuch weben kann. Die Herstellung geschah teils in Heimindustrie, teils in Manufakturen. Man benötigte gelernte Techniker, Waisenkinder zum Spinnen und Weben, französische Zeichner, um Stickereien zu entwerfen, und Frauen, um sie auszuführen.

Gewisse Vorbereitungen waren unumgänglich: 1752 erklärte der König:

Der Seidenbau steckt noch in den Anfängen, in 6 Jahren, wenn die Bäume stark genug sein werden, daß man die Blätter einsammeln kann, gilt es dann, Eier der Seidenraupe in großer Zahl zu beschaffen, um reichlich davon an die Leute ausliefern zu können; auch wird es dann nötig sein, das Verfahren bei der Aufzucht der Würmer und die Herstellungsweise von Seide, Organsin, Tramseide, Florettseide usw. gedruckt herauszugeben, und es wird Spezialschulen geben müssen, in denen Mägde und Landleute lernen können, wie und wann die Würmer schlüpfen, wie man sie füttern muß, und wie man die Kokons abhaspelt.

In Berlin gibt es einen Pfarrer³, der eine Lehranstalt gegründet hat, die er Realschule nennt und in der er die Erzieher die Herstellung von Seide lehrt; man braucht sie danach nur als Küster auf die Dörfer zu schicken, und der Adel sowie die Amtleute können von ihnen lernen, wie man diese nützliche Kultur fördert. In unserem kalten Klima besteht die große Kunst darin, die Raupen nicht zu früh und auch nicht alle auf einmal schlüpfen zu lassen und auf keinen Fall mit Tau bedeckte Blätter an die Würmer zu verfüttern, denn davon werden sie wassersüchtig.

Damit in der Zeit, in der die Seidenweberei entstanden, bei der Verbesserung der Verhältnisse im Land gleichermaßen alles vorankam, richtete ich Stoff und Samtmanufakturen ein. Die entsprechenden Handwerker sind hier eingewandert und verursachen mir große Kosten; um diese mit der Zeit zu senken und die fremde Kunst zu unserer eigenen zu machen, schicke ich auf meine Kosten 40 Lehrlinge zu diesen Arbeitern, die ich, sobald die Lehrlinge Meister geworden sind, durch andere ersetze. Gegenwärtig haben wir 500 Seidenwebstühle in Berlin sowie in Potsdam; aber das ist erst ein kümmerlicher Anfang.

Um das Handwerk, die Seidenmanufakturen, zu fördern, muss man für die im Land hergestellten Stoffe nicht nur freie Ausfuhr gestalten, sondern auch den Kaufleuten, die sie im Ausland absetzen, auch bestimmte Prämien (wie das in England gemacht wird) gewähren, und da wir nicht so viele Webstühle haben, wie nötig sind, wird der Landesherr, um weitere aufzustellen, nur dann Erfolg haben, wenn er den Kaufleuten, die sich dieser Manufaktur annehmen, große Summen zur Verfügung stellt, mag eine solche Aufwendung sich pro Jahr auch auf 100 000 Thaler belaufen [...]

Zudem habe ich in Berlin ein grosses Seidenmagazin eingerichtet, dessen Fonds ich auf 100 000 Thaler zu erhöhen gedenke, so daß unsere Handwerker in einer Zeit, da die Seide im Preis steigt, zum gleichen Kurs weiterarbeiten und so denen von Leipzig und Hamburg⁴ und sogar denen von Holland mit Glück den Rang ablaufen können.

Diese Überlegungen standen nicht bloß auf dem Papier: wie sehr die Förderung dieser neuen Industrie dem König am Herzen lag, bezeugen die drei Bände der *Acta*

³ Johann Julius Hecker (-1768), Consistorialrat an der Dreifaltigkeitskirche (Abbé Denina, *La Prusse littéraire sous Frédéric II.*, Berlin H.A.Rottmann 1790, II, 173f.).

⁴ Leipzig war während des Siebenjährigen Krieges "feindliches Ausland" und die freie Reichsstadt Hamburg unterstand nicht der preußischen Gerichtsbarkeit.

*Borussica*⁵, die sich mit den Urkunden und Aktenstücken, von 1686 an, über Privilegien, Statistiken, Eingaben, Gutachten und Korrespondenz mit den einzelnen Unternehmern der Seidenindustrie befassen. Immer wieder geht es dort um die mächtigsten dieser christlichen Refugiés und die vier 'grossen' Berliner Handelsherren.

Der meistgenannte unter den Letzteren war Isaak Bernhard, der sich bereits 1746 etabliert hatte und 1767, kurz vor seinem Tode im Jahre 1768, als erster der "Grossen jüdischen Entrepreneurs" genannt wurde.

Als Kaufmann, der die Waren anderer verlegte, hatte Bernhard 1750 den König um eine Concession zum Hauskauf und um die Gewährung eines Generalschutzpatents für seine Kinder ersucht. – Erst 1752 erhielt er die Erlaubnis in Berlin zu einem Betrieb zur Erstellung von seidenen Stoffen und erst 1753 durfte er ein eigenes Haus erstehen.

Doch als Arbeitgeber betraf die Arbeits- und daher Aufenthaltserlaubnis auch seine Angestellten. So kam 1750 der damals schon mehrere Jahre für seine vielseitige Gelehrsamkeit Aufsehen erregt habende 21jährige Moses als Hauslehrer des ältesten, damals 13 jährigen Erben in das Haus des Seidenkaufmanns Isaak Bernhard.

Wie wesentlich der Lehrer zur Bildung des Schülers beitrug, soll hier nicht zur Sprache kommen. Wohl aber dass, nachdem die Erziehung des Erben Ende 1753 als abgeschlossen galt, der Kaufmann Bernhard dem jungen Moses einen Posten als Buchhalter innerhalb seiner angesehenen Manufaktur anbot: ein harter Brotverdienst für einen selbständigen Gelehrten, damals schon Mitglied des Gelehrten Kaffeehauses und nicht nur bekannt mit Louis de Beausobre, dem Sohn des Kgl. Hofpredigers, sondern auch mit Maupertuis, dem Präsidenten der Kgl. Akademie der Wissenschaften, dem Schweizer Gelehrten Sulzer, dem Dichter Ramler. – Aber blieb ihm als mittellosem Juden viel Wahl, außer der zwischen Kaufmann und Bettler als jemand, der ohne den Schutz eines Arbeitgebers seiner Aufenthaltserlaubnis in Berlin verlustig gegangen wäre und unverzüglich hätte die Stadt verlassen müssen? Ohne Hoffnung, durch Bücher, durch Gelehrte je sein Wissen erweitern zu dürfen?

II

Die Bücher fanden ihren Platz neben seinem Pult im Kontor. Wie sehr aber tagsüber ungestörte Zeit zum Studium fehlte, darüber geben diverse Briefstellen an den Verleger Nicolai, an Lessing, an den jungen Mathematiker Thomas Abbt im Laufe der Zeit reichlich Auskunft. Als Beispiel die Beschreibung dieser Zwickmühle an Lessing am 27. Februar 1758:

⁵ *Die Preußische Seidenindustrie im 18. Jahrhundert und ihre Begründung durch Friedrich den Großen*, Berlin 1892. Neue Auflage 1986/87.

Bd. 3, Kap. 3, S. 81-102: Die Anfänge der Seidenindustrie in Berlin und in Krefeld. - Kap. 4, S. 103-135: Die Neubegründung der Industrie in Berlin und Potsdam durch Friedrich den Großen. - Kap. 6, S. 154-171: Der Krieg und die Krisis von 1766. - Kap. 10, S. 215-233: Die Sammet- und Seidenfabrication von 1766-1786. (Moses Riess, sein Schwiegersohn Isaak Bernhard, Moses Mendelssohn, Girard & Michelet, Gebrüder Baudouin Söhne) - Kap. 14, S. 275-281: Seidenbau und Zubereitung der Rohseide (1763-1786).

Ein guter Buchhalter ist gewiß ein seltnes Geschöpf. Er verdient die größte Belohnung; denn er muß Verstand, Witz⁶ und Empfindung ablegen, und ein Klotz werden, um richtig Buch zu führen. Verdient ein solches Opfer zum besten der Finanzen nicht die größte Belohnung?

– Wie ich heute auf diesen Einfall komme, fragen Sie? Sie können es wohl unmöglich errathen, daß mir des Hrn von Kleist⁷ neue Gedichte dazu Anlaß gegeben. Ich ließ sie mir des Morgens um 8 Uhr kommen. Ich wollte unserm lieben Nicolai eine unvermuthete Freude damit machen, und sie mit ihm durchlesen. – Allein ich ward verhindert.

Mendelssohn schilderte, wie das zugeing:

“Was bringt Er mein Freund? und Sie Gevattern? und Er, Geselle? – Lassen Sie mich heute, ich kann nicht.” “Sie haben ja nicht irgend Feyertage?” “Das wohl eigentlich nicht, aber ich bin krank [...] Kommen Sie morgen wieder.”

Diese Leute waren gefällig, allein mein Principal war es nicht. Ich bekam Arbeit bis gegen Mittag. Ich las indessen unter der Arbeit hier und da ein Fleckchen, und da merkte ich, wie schwer es ist, Empfindung zu haben, und ein Buchhalter zu seyn. Ich fing an in Handlungssachen schön zu denken, und machte in meine Bücher eine von den Schönheiten, die man von einer Ode zu rühmen pflegt. Ich verwünschte meinen Stand [...].

Das hinderte ihn nicht, seine Pflichten so getreu auszuführen, dass ihn Bernhard bereits 1761 zum Prokuristen machte und die Führung der Geschäfte völlig ihm überließ, so dass sein Doppelleben als Gelehrter weiter unter der Behinderung immer weiter litt.

Es scheint unvorstellbar, dass neben und trotz der täglichen Belastung wichtige Veröffentlichungen zustandekamen: 1754, in Zusammenarbeit mit Lessing, die gelehrt-witzige Preisarbeit *Pope ein Metaphysiker!*, 1755 die erste deutsche Übersetzung von Rousseaus' Discours II (*Ueber die Ungleichheit der Menschen und woher sie komme*) für den Verlag von C. F. Voss; nach 1757 einundzwanzig Artikel über Shakespeare, Pope und den Geniebegriff, die Bibel als Dichtung in der *Bibliothek der schönen Wissenschaften und der freyen Künste*: ein fruchtbarer Schatz für Herders, Goethes, Schillers wichtige Arbeiten viele Jahre später. Von 1765 an lag auf seinen Schultern der von Herder hochgelobte Anteil der sogenannten *Litteraturbriefe*, der *Briefe, die neueste Litteratur betreffend* (1759-1765): 125 der 335 Briefe.

Nachdem im Januar 1763 Mendelssohn der Preis der Akademie für seine “Abhandlung über die Evidenz in den metaphysischen Wissenschaften” zugesprochen worden war, schilderte er im Mai des gleichen Jahres dem Freunde Lessing, die Last unter der er litt:

Ich habe ihn in den ersten Flitterwochen nach meiner Hochzeit [Juni 1762] verfertigt, unter tausend Zerstreuungen, die mich nie zu mir selber kommen ließen. Und leider! diese Zerstreuungen dauern zum Theil noch immer fort ... die Geschäfte! die lästigen Geschäfte! Sie drücken mich zu Boden, und verzehren die Kräfte meiner besten Jahre. Wie ein Lastesel schleiche ich mit beschwertem Rücken meine Lebenszeit hindurch, und zum Unglück sagt mir die Eigenliebe oft ins Ohr, daß mich die Natur vielleicht zum Paradeperd geschaffen hat [...] Was ist zu thun, mein lieber Freund? Wir wollen uns

⁶ Witz hatte zur damaligen Zeit die Bedeutung von “esprit”.

⁷ Der enge Freund Lessings, der Dichter Ewald von Kleist, fiel 1759 als Major im Siebenjährigen Krieg.

einander bedauern, und zufrieden seyn. So lange die Liebe zu den Wissenschaften bey uns nicht erkaltet, haben wir noch eine gute Hofnung (JubA 12.1, S. 9).

Trotz dieser Belastung versieht er sein Amt so gut, dass ihm persönlich der König 1764 ganze 20 000 Taler zur Begründung einer weiteren Manufaktur in Potsdam anbieten lässt⁸. Aus dem gleichen Jahr 1764 hat sich ein Brief an den Verleger Nicolai erhalten, in welchem Mendelssohn mit Humor die Doppelrolle als Gelehrter und als Prokurist parodiert:

Ich habe Ihnen kaufmännische Commissionen aufzutragen, und ich sinne, wie ich solche, so fein, so artig, so in dem Gellertschen Geschmack vorbringen möchte, als jener Brifsteller seine 6 Paar seidne Strümpfe fodern läßt. [...] Ferner bitte ich ein Stük meiner Preisschrift zur Probe an Hrn [Isaak] Iselin nach Basel abgehen zu lassen, alles mit guter Gelegenheit, daran es ... nicht fehlen kan, die Fracht zu bedingen, mir aber für etwaige Auslage zu debitiren (ebd., S. 45)

Außer dem Basler Ratschreiber Iselin, der ihn 1762 – neben Rousseau, Hume und dem Prinzen Ludwig Eugen von Württemberg – zur Mitgliedschaft in der Helvetischen Gesellschaft aufgefordert hatte, war nach 1762 der junge Thomas Abbt (*1738) Mendelssohns engster Brieffreund. Diesen ließ er am 26. März 1765 wissen:

Ich höre den langen Tag so viel unnützes Geschwätz, ich sehe und thue so viel gedankenlose, ermüdende und dummachende Dinge, daß es keine geringe Wohltat für mich ist, wenn ich mich des Abends mit einem vernunftliebenden Geschöpfe unterhalten kann (ebd., S. 85).

1765 scheint es zu einer Krise gekommen zu sein. Die Hoffnung in der indirekten Bitte an Abbt, Berlin zu verlassen und nur der Wissenschaft zu leben, wurde durch den Tod des noch nicht 28jährigen Abbt im November 1766 vereitelt.

Das Jahr 1766 beraubte ihn und seine Frau ihres ältesten Kindes und beider Eltern. Ende April 1768 starb Isaak Bernhard, und alle Verantwortung für die Fortführung des Unternehmens und damit das Wohlergehen der Witwe Bernhard und ihrer Kinder ruhte nun auf dem 39jährigen Prokuristen, der im Namen der Witwe die Geschäftsführung fortsetzte.

Gleichzeitig ist er an Nicolais drittem, sehr ehrgeizigen Unternehmen, der *Allgemeinen Deutschen Bibliothek* (1765-) bis 1784 als Mitarbeiter tätig, obwohl ihm im Herbst 1769 Lavaters öffentlicher Bekehrungsversuch die physischen Kräfte zu überfordern drohte. Wieder und wieder muss er selbst geplante und recht notwendige Kuren in Bad Pyrmont absagen, denn die geschäftlichen Verpflichtungen bestehen weiter: "Ich muß fast täglich an meine Arbeit, wo sie sich nicht so sehr anhäufen soll, daß sie am Ende meine Kräfte übersteiget." Nur die Hoffnung auf baldige Genesung besteht: "Ich hoffe auch mit der Zeit wieder dahin zu kommen, in den Nebenstunden [!] meine literarischen Belustigungen fortsetzen zu können. ... Diese Hoffnung auf bessere Zeit ist es, die mich bey guter Laune erhält, und ohne sie würde ich unglücklich sein." Um genügend Kraft für solche 'Belu-

⁸ Dass dies wirklich geschah, lässt sich 1780 aus den Geschäftsakten der Bernhardschen Erbteilung nachweisen: denn Mendelssohn hatte seinem Chef die königliche Summe überlassen, die dann auf die Errichtung zusätzlicher Webstühle verwendet worden war.

stigungen' zu erübrigen, werden alle Abendeinladungen abgesagt, und so entstehen nach 1769 die Vollendung der Übertragung aller 150 Psalmen, der hebräische Kommentar zu Ecclesiastes (1770), auf Wunsch der preußischen Regierung die Übersetzung der jüdischen Ritualgesetze (1778), die Verhandlungen mit dem Minister v. Cramer über den Gebrauch des Judeneids.

Der Beginn der Pentateuch Übertragung nach 1778 und weiterer Werke zum Judentum⁹ überschneidet sich mit dem Gesuch an den König, den beiden Söhnen Isaak Bernhards und Mendelssohn die Konzession zu erteilen, die Seidenmanufaktur als Partner fortzuführen. Mendelssohn hatte begreiflicherweise, um Kraft und Zeit zu sparen, das Kontor in seine Wohnung verlegt. Dass diese aber nur aus drei Stuben bestand, ergibt sich aus seinem Gesuch vom 28. August 1766:

Um nach Ew. Königl. Majestät allergnädigsten Intention, neben meinem Brodgeschäfte auch wie bisher den Wissenschaften obliegen zu können, habe ich es dahin gebracht, daß ich die Besorgung der Seiden Manufaktur=geschäfte, wovon ich lebe, in meinem Hause verrichten kan. Zu solchem Ende das in der Spandower gelegene, vormals Haenselsche, anjetzo der verehrlichten Meyerin, gebohrne Ephraim zugehörige Haus sub N^o 345 auf 10 Jahre gemiethet, und die manufaktur-Casse und was sonst zum Comtoir gehörig, dahin transportiren laßen. Wenn nun in diesem engen Häußchen kein Raum geblieben, auch im übrigen nicht thunlich ist, neben einem so wichtigen Comtoir Einquartierung einzu nehmen, so erühne mich allerunterthänigst zu bitten, Ew. Königl. Majest. wolle allergnädigst geruhen, dieses kleine Hauß, so lange das Comtoir zur Seiden Warenfabrique darin ist, von aller Einquartierung zu dispensiren.

Getröste mich allergnädigster Erhöhung und ersterbe Ew. Königl. Majestät Allerunterthänigster Moses Mendelssohn, Schutzjude hierselbst.¹⁰

Dass durch den Krieg eine Geschäftsflaute bestand, man also sparen musste, leuchtete der einberufenen, Juden nicht gesonnenen Kommission nicht ein. Doch der König gab sich erstaunlicherweise – was für sein Vertrauen zu Mendelssohn spricht – nicht mit der Verweigerung zufrieden und setzte eine 2. Untersuchungskommission ein, die dann für die Einquartierung ein anderes, nur von einer Person bewohntes Haus aussuchte.

Aus seiner Petition an den König, von Einquartierung in seiner, aus drei Stuben bestehenden Mietwohnung in der Spandauer Str. befreit zu werden, wissen wir, dass er dort nicht nur mit Frau und Familie wohnte, sondern, dass er neben der Wahrnehmung seiner Tätigkeit auch bedacht war, Verbesserungen in der Seidenverarbeitung durchzuführen.

⁹ Hierzu gehören: *Die Immaterialität der Seele* (1774), als weiterer Teil des *Phädon oder über die Unsterblichkeit der Seele* (1767), Beteiligung am *Lesebuch für jüdische Kinder* (1779).

¹⁰ Dieses Gesuch befindet sich in dem abgeschlossenen, bisher noch unveröffentlichten Band JubA 21.1 als Nr. 282a. Das Original der Bittschrift befindet sich in HA Militärdepositem Servisregistratur III Berlin Nr. 146. Nach Ende des Siebenjährigen Krieges hatte Berlin unter seinen etwa 132 000 Einwohnern 5600 Hugenotten, 3800 Juden und 26 000 Militärs. Mit Hilfe des Marquis d'Argens war Mendelssohn, auf seinen 2. Antrag hin, 1763 Schutzjude geworden. Dies gewährte ihm Bleiberecht in Berlin.

Auf Mendelssohn zurückzuführen ist a. die Zentralisierung der Verarbeitung des Garns, um eine einheitliche Qualität der Seide zu gewährleisten, b. die Unterbringung der Rohseiden, c. Vorschläge und Produktion neuer Seidenarten und deren Absatz.

Außerdem kamen Mendelssohns eigene Überlegungen der Industrie zugute, denn Arbeiten vieler Branchen mussten angesetzt werden, auch die Unternehmer mussten bereit sein, Handelskenntnisse zu erwerben, mit wechselnden Moden Schritt zu halten durch Ausbildung von Zeichnern und Vorlegen von Musterbüchern. Dazu gehörte dann auch Kenntnis in der Mischung der Färbungen.¹¹

Als letztes Kapitel in diesem Anteil der unfreiwilligen Mendelssohnschen Doppelexistenz kam 1780 mit königlicher Bewilligung die Begründung einer Teilhaberschaft zusammen mit den Söhnen Isaak Bernhards zustande und krönte so den Aufstieg des einstigen Buchhalters (1754) zum Prokuristen (1761), zum Partner der Witwe Bernhard (1768), zum Teilhaber der Firma im Jahre 1780.

Verständlich wird dieser letzte Schritt, der von der Erlaubnis des nicht judenfreundlichen Königs abhing, durch Urkundenmaterial im Geheimen Staatsarchiv.

Hieraus geht hervor, das bereits von 1768 an, also nach dem Tod Isaak Bernhards, Mendelssohn derartig erstaunliche Verbesserungen im Seidenhandel in Bezug auf Einfuhr des Rohmaterials und das Kreditwesen ausgedacht hatte, dass sie den Seidenherstellern größere Initiative freistellte.

Die Regierung konnte nicht umhin, dies durch neue Gesetze 1771 zu legalisieren. Ein drittes Mal bezeugte der König dem Denker sein uneingeschränktes Vertrauen in dessen Tüchtigkeit auch in Handelsdingen, als ohne Zögern die Konzession für Bernhard Söhne & Comp erteilt wurde. –

Aus bisherigen Erforschungen der Repositorien des Geheimen Staatsarchivs geht hervor, dass der König allein im Vertrauen auf Mendelssohns Fähigkeit diesem Gesuch stattgab.

III

Als eindeutiger Nachweis der Tätigkeit Mendelssohns hat ein Geschäftsjournal der Firma die Zeiten überlebt, und zwar eines, das Mendelssohn mit eigener Feder über 18 Monate hinweg führte.

Auf 180 Folioseiten gibt es gewissenhaft angelegte Verzeichnisse und Abrechnungen des Zeitraums Januar 1779 bis November 1781. In regelmäßigen Abständen werden Gewinn und Verlust der aufgeführten Geschäftspartner verzeichnet. Somit erhalten wir Einblick in 90 Firmen, mit denen in fünf Ländern und 25 Städten Geschäftsbeziehungen im Gange waren.

¹¹ Dass M. eigene Überlegungen in die Praxis umsetzte, erweisen Buchtitel der Bücher in seinem Besitz laut der nach seinem Tode 1786 zur Auktion angebotenen Bücher. Hinzu kommt bereits 1775 das M. gespendete Lob Johann Carl Gottfried Jacobsons im Bd. 3 seines Werkes über den Schauplatz der Zeugmanufakturen: "Er ist nicht allein ein geschickter Fabrikant, sondern er besitzt auch die bey solchen Männern so seltene Gabe, sich über seine Beschäftigungen gehörig und mit Verstand zu erklären [...]."

Dass dies Hauptbuch überlebte, verdanken wir dem Bankbeamten Julius Thielecke, der dieses Geschäftsjournal aus den Beständen der Mendelssohn Bank in den Dreißiger Jahren als Teil einer Materialsammlung zur Erstellung einer Geschichte der Mendelssohn Bank herausgesucht hatte, und das so glücklicherweise den Brand vom 23. November 1943 überstanden hat.

In Bälde soll dessen Veröffentlichung als Sonderband der *Moses Mendelssohn Gesammelte Schriften* (Stuttgart:Frommann 1972) helfen, unsere Kenntnis der Bedeutung dieser Seidenindustrie im Zeitalter Friedrich II. beachtlich zu vertiefen.

Prof. Dr. phil. Eva Johanna Engel Holland
Schlossplatz 10 · D-38304 Wolfenbüttel

JOACHIM HENTZE, Braunschweig

Unternehmerisch-initiierte Führung (Corporate Entrepreneurship) als Instrument der Unternehmensführung

Braunschweig, 19.04.2002*

Der Terminus '**Entrepreneurship**' in der angloamerikanischen Literatur entstammt dem französischen Verb 'entreprendre' und heißt übersetzt '(etwas) unternehmen'. Aufgrund der vielfältigen Innovations- und strategischen Wandlungsnotwendigkeiten von Organisationen wird auch für Großunternehmen zunehmend mehr 'Unternehmergeist' und unternehmerisches Handeln gefordert. 'Corporate Entrepreneurship' ('Intrapreneurship') kann aus Sicht der in der Literatur propagierten strategischen Führung als wichtige Ergänzung von betriebswirtschaftlich-rationalen, analytisch-methodischen Ansätzen interpretiert werden. Durch Kreativität, Intuition, Erfahrung, unternehmerische Initiative, Risikobereitschaft und Motivierungsfähigkeit können Schwachpunkte wissenschaftlich aufbereiteter strategischer Konzepte bei der Implementierung (z.B. zu hohe Komplexität des Gegenstandsbereiches, Informationsdefizite der Führungskräfte) kompensiert werden. Aus Sicht der **Praxis in Großunternehmen** lässt sich das 'Unternehmertum in Unternehmen' als 'dynamisierender' Basisansatz zur Veränderung 'träger' Organisationsstrukturen auf-fassen.

Grundlegendes Ziel ist die Steigerung von **Innovationskraft** (Fähigkeit und Motivation zu Innovation) von Unternehmungen, die in der Vergangenheit allzu sehr von innovationshemmenden bürokratisch-hierarchischen, stark formalisierten Strukturen bestimmt war. Die ursprüngliche Grundidee besteht in der **Verknüpfung von Innovationspotentialen** von Großunternehmen und unternehmerischen Fähigkeiten kleiner (Venture-)Einheiten.

Zentrale Funktion unternehmerischen Handelns ist nach Schumpeter, der in seinen national-ökonomischen Arbeiten den 'dynamischen Unternehmer' als 'Triebfeder' wirtschaftlicher Entwicklung beschrieb, Inventionen und 'neue Kombinationen' (= Innovationen) voranzutreiben und 'die Dinge in Gang' zu setzen. Inzwischen werden in der sich in vielen Fällen auf Schumpeter berufenden Literatur präzisere Merkmale zur Beschreibung des 'Entrepreneurships' herausgearbeitet, die gleichzeitig Hinweise für die entsprechende Gestaltung von Organisationen ('strukturelle Führung') und Leitkriterien für die Mitarbeiterführung vorgeben. Es lassen sich die folgenden fünf **zentralen Kategorien** unterscheiden:

(1) **Proaktivität**

Proaktivität lässt sich als ein Verhalten kennzeichnen, das sich durch eine frühzeitige und handlungsbezogene Vorbereitung auf die Zukunft auszeichnet. Vorausgesetzt werden muss dabei individuelle Innovationsfähigkeit (Eignungspotential zur Lösung einer innovativen Aufgabe) und organisationale Innovationsfähigkeit.

* Kurzfassung eines Vortrags gehalten in der Klasse für Geisteswissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.

(2) **Ehrgeizige Bestrebungen, die über die bisherigen Möglichkeiten und Fähigkeiten hinausgehen**

Diese Kategorie beschreibt den uneingeschränkten Willen zu laufender Weiterentwicklung bzw. kontinuierlicher Verbesserung (Innovationsbereitschaft).

(3) **Teamorientierung**

Bei der Durchsetzung von Entscheidungen, bei der Unterstützung innovativer Ideen und bei der Förderung kreativer Persönlichkeiten spielen Koalitionen und Teams von Topmanagern und mittleren Führungskräften eine wichtige Rolle.

(4) **Kreative Fähigkeiten**

Die Erneuerung von Organisationen steht vor der Aufgabe, zum Teil völlig unerwartete, bislang unbekannte Herausforderungen zu bewältigen, die nur mittels kreativer Prozesse gelöst werden können.

(5) **Lernfähigkeit**

Vor dem Hintergrund sich verschärfender Wettbewerbsbedingungen wird im Konzept des Corporate Entrepreneurship ein Instrument der Unternehmensführung gesehen, sich einen Wettbewerbsvorteil zu verschaffen. Führungsinstrumente werden eingesetzt, um Wirkungen zu erzielen. Durch die zunehmende Internationalisierung der Weltwirtschaft ist es notwendig, wachstumsorientierte unternehmerische Konzepte zu entwickeln, die sich an internationalen Maßstäben orientieren. Es sollen Wege aufgezeigt werden, den individuellen Wohlstand im Einklang mit gesellschaftlichen Normen und marktwirtschaftlichen Prozessen zu vergrößern. Zu fördern sind im Wesentlichen unternehmerische Schlüsselqualifikationen und -motivationen. Zu diesen Kernkompetenzen zählen:

- Gestaltungskompetenz (unter anderem strategieorientierte Innovationen),
- Sozialkompetenz (unter anderem kooperative Selbstorganisation, Integrationsfähigkeit) sowie
- Handlungskompetenz (unter anderem effiziente, kreative Ideenumsetzung).

Anknüpfungspunkte für konkrete Maßnahmen sind die Dimensionen (indirekte) strukturelle Führung einerseits und direkte Beeinflussung andererseits. Die strukturelle Führung fördert über unternehmerische Optimierung der Strategie, Organisation und Kultur der eigenen Organisationseinheit die Bedingungen für unternehmerisches Verhalten der Mitarbeiter. Direkte Beeinflussung wirkt unter anderem über persönlich oder teamorientiert adressierte Kommunikation, zum Beispiel über die Formulierung einer gemeinsam getragenen Mission, durch Zielvereinbarungen, durch darauf ausgerichtete Anreize, Fördermaßnahmen (Coaching, Mentoring), Selektionsprozesse und auch über Kontrollen.

Prof. Dr. habil. Dr. h. c. Joachim Hentze
Brachvogelweg 4
D-30916 Isernhagen

HANS-JOACHIM BEHR, Braunschweig

**Mîn kranker sin, mîn unvornunst / gestaten mir ze reden nicht.
Repräsentation und höfische Verhaltensmuster im
'Tristan' Heinrichs von Freiberg**

Braunschweig, 08.11.2002*

Bekanntlich ist der große Minneroman, in dem Gottfried von Straßburg um 1210 die Liebe Tristans mit der blonden Isolde beschreibt, der einstigen irischen Prinzessin und jetzigen Ehefrau seines Lehnsherrn, Onkels und väterlichen Freundes König Marke von Cornwall, unvollendet geblieben, wobei wahrscheinlich eher äußere Gründe wie der Tod des Autors oder Gönnerverlust dafür verantwortlich zu machen sind als etwaige Konzeptionslosigkeit, da Gottfried in Thomas einen nach eigenen Angaben zuverlässigen Gewährsmann hatte. Fragmente aber üben auf nachfolgende Literatengenerationen immer einen eigenartigen Reiz aus: Wolframs von Eschenbach 'Willehalm' wurde fortgeschrieben, ebenso aber auch Gottfrieds 'Tristan', und das gleich von zwei verschiedenen Autoren: dem Schwaben Ulrich von Türling (2. Drittel des 13. Jahrhunderts) und dem Deutschböhmen Heinrich von Freiberg (Ende des 13. Jahrhunderts). Beide Fortsetzer haben mit ihren Dichtungen vor allem vor den Augen der älteren Forschung wenig Gnade gefunden: Epigonen seien sie gewesen, kleine Geister, die Gottfrieds Anliegen, den Konflikt des Titelhelden zwischen seiner gesellschaftlichen Rolle und seinem Recht auf Glück, nicht verstanden und die deshalb in Tristans späterer Ehe mit Isolde Weißhand die alle Normen sprengende Brisanz der Ehebruchliebe in konventionelle Bahnen umgeleitet und kanalisiert hätten.

Die neuere Forschung sieht die Problematik deutlich gelassener und bemüht sich zunehmend, auch die Fortsetzungen zu ihrem Recht kommen zu lassen, geht es doch nicht darum, Werturteile zu tradieren oder gar die Uneinsichtigkeit zweier hochmittelalterlicher Autoren für die (vom heutigen Standpunkt aus festgestellten) Fragen ihrer Zeit anzuprangern, sondern zu prüfen, warum sie – vorausgesetzt, der Befund stimmt – eben nicht bereit waren, Gottfrieds Radikalität zu teilen und statt ihrer einen anderen, gesellschaftskonformen Schluss anbieten.

Der Vortrag in der Geisteswissenschaftlichen Klasse der BWG hatte sich zum Ziel gesetzt, einen der beiden Fortsetzungsromane, den 'Tristan' Heinrichs von Freiberg, daraufhin zu befragen, ob und inwieweit sein Autor Gottfrieds Vorgaben aufgreift (ihn also „verstanden“ hat) und wie er sie eventuell konzeptionell umarbeitet. Ansatzpunkt dafür sind im Text dargestellte Formen von Repräsentation und höfischen Verhaltensmustern, denn bekanntlich ist die Visualisierung von Macht, Ehre und Reichtum vor den Augen der (Standes-)Öffentlichkeit ein wichtiger und kaum zu überschätzender Bestandteil adeliger

* Kurzfassung eines Vortrags gehalten in der Klasse für Geisteswissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.

Lebenswirklichkeit. Zahlreiche Stiftungen, literarische Ausgestaltungen in Epen und Chroniken und im großen Stil inszenierte Feste, die zum Teil in der Folklore weiterleben wie die Landshuter Fürstenhochzeit, geben darüber noch heute beredt Auskunft.

Wer nun vor dem Hintergrund dieses Wissens Gottfrieds Roman liest, wird zunehmend verunsichert. Während seine Zeitgenossen nicht müde werden, in ihren Texten jede Menge höfischer Pracht vor ihren Hörern respektive Lesern zu entfalten, kommen Festlichkeiten im 'Tristan' kaum vor. Lediglich zu Beginn, bezeichnenderweise in der Vorgeschichte der Eltern und nicht einmal im Zusammenhang mit dem Titelhelden, wird eine Maifeier am Hof König Markes beschrieben, doch auch sie dient nur dazu, das zukünftige Liebespaar, Riwalin und Blanscheflur, sich begegnen und ineinander verlieben zu lassen. In der Tristan-geschichte hingegen meidet der Autor Festivitäten wie der Teufel das Weihwasser: Als der Protagonist seine Schwertleite erhält, winkt sein Chronist nur müde ab: Zu oft seien derartige Dinge schon erzählt worden, und wahrscheinlich besser, als er das könnte – woran sich eine kritische Sichtung des zeitgenössischen Literaturbetriebes anschließt.

Heinrich von Freiberg stellt sich zu Beginn seines Romans ausdrücklich in die Nachfolge Gottfrieds. Aber schon sein Umgang mit höfischer Repräsentation macht deutlich, dass er ihm nicht in allen Punkten zu folgen gewillt ist. Zwar dämmt auch er die bei anderen Autoren geradezu inflationäre Fülle an Festbeschreibungen deutlich ein, aber nicht aus Ideosynkrasie gegenüber der tagtäglichen Selbstinszenierung der adeligen Gesellschaft, sondern lediglich deshalb, um sie, auf wenige Beispiele reduziert, umso konzentrierter und damit effektvoller einsetzen zu können. Gottfrieds Vorgaben werden also scheinbar aufgegriffen, aber in Wirklichkeit unterlaufen und in eine andere Richtung umgelenkt. Das gilt auch für das zentrale Thema, die Tristanliebe, also die Frage, ob es ein Anrecht auf eine derart bedingungslose, quasi als Naturgewalt hereingebrochene Liebe gibt, wenn das Objekt der Begierde bereits die Frau eines anderen Mannes ist. Wie vom Stoff und anderen Tristanversionen vorgegeben, setzt auch Heinrich gegen die Ehebruchsliebe zur blonden Isolde die Heirat mit ihrer weißhändigen Namenskollegin. Aber dennoch lässt er seinen Helden nicht mit vollen Segeln in den Hafen der Ehe einlaufen – auch sein Tristan bleibt der blonden Isolde (zunächst) treu, wandelt sich aber im Laufe der Zeit. So sind Treffen mit der Geliebten und Markes Frau jetzt nur noch unter Ausnahmebedingungen (in sicherer Maskerade als Narr oder Aussätziger oder gänzlich im Verborgenen) möglich und werden immer seltener, bis sie schließlich ganz aufhören. Gleichzeitig intensiviert er die Beziehung zu Isolde Weißhand: Der Held hat plötzlich keine Bedenken mehr, die Ehe mit seiner angetrauten Ehefrau zu vollziehen (in der Hochzeitsnacht war ihm das noch als Verrat an seiner Liebe erschienen), mit der er standesgemäß und in Befolgung der höfischen Normen mittlerweile zusammenlebt. Währenddessen übernimmt sein Schwager Kaedin die nunmehr freie Rolle des Ehebrechers: Er verliebt sich in eine verheiratete Frau und muss nun – wie einstmals Tristan – den Zorn des gehörnten Ehemannes fürchten. Weil dieser ein nicht zu unterschätzender Gegner und maßlos eifersüchtig ist, muss Tristan Kaedin helfen, und er tut das nach dem Muster des Artusritters, nach dem der Held anderen Personen beizustehen hat, wenn diese in Schwierigkeiten geraten sind. Allerdings ist im Artusroman das moralische Anrecht auf Beistand in der Regel erheblich begründeter. Doch wie dem auch sei: Das Modell trägt. Der einstmals selbst in Ehebruchsnöten stehende Titelheld

agiert inzwischen als idealer Artusritter, denn er setzt sein Leben ein im Kampf für Andere und erhält dafür neben gesellschaftlicher Anerkennung (êre) auch die Liebe einer schönen Frau (minne), mit der er die Ehe schließt und in deren Dienst er sich ständig bewährt, um sich ihrer würdig zu erweisen. Ganz unter der Hand hat sich Tristan damit zum gesellschaftskonformen Krieger und braven Ehemann gemausert. Und sein Tod ist in diesem Rahmen das, was er im Artusroman immer sein kann, wenn es auch selten geschieht: ein tragischer Betriebsunfall. Spätestens damit ist der einstige Ehebrecher und gesellschaftliche Außenseiter in die Bahnen der Gemeinschaft zurückgeführt, die jetzt auch das frühere Leben des Helden mit anderen Augen betrachtet. Marke selbst rehabilitiert ihn in seiner gesellschaftlichen Reputation, als er Tristan und Isolde nebeneinander bestatten lässt. So hat Heinrich mit viel Geschick die soziale Sprengkraft in Gottfrieds 'Tristan' sukzessive entschärft, indem er dessen Denkmuster zunächst übernahm und sie dann, analog zu seinem Helden, umdrehte und gegenläufig neu montierte. Ein solcher 'Tristan' ist nicht mehr dazu angetan, gesellschaftliche Konventionen in Frage zu stellen, sein revolutionärer Impuls ist vollständig verklungen.

FEIERLICHE JAHRESVERSAMMLUNG 21. JUNI 2002

ÖFFENTLICHE WISSENSCHAFTLICHE VORTRÄGE

M. JANSEN, Stuttgart

Chemie an, mit und in Fullerenen

Es gibt nur wenige wissenschaftliche Ereignisse der jüngeren Vergangenheit, die über die Fächergrenzen hinweg ähnliche begeisterte Aktivität ausgelöst haben wie die Entdeckung gleich einer ganzen Familie neuer Modifikationen des Elementes Kohlenstoff, der Fullereene. Diese folgenreiche Entdeckung war nun keineswegs das Ergebnis darauf abzielender Forschung. Sie deshalb als zufällig anzusehen, wäre allerdings ebenfalls nicht gerechtfertigt. Am zutreffendsten wird der Sachverhalt durch den englischen Ausdruck „by serendipity“ (etwa: durch Glück begünstigter Spürsinn) getroffen. Eine Schlüsselrolle spielte hierbei die Astronomie. Eines ihrer aktuellen Themen ist die Erforschung interstellarer Materie. Insbesondere der dort nachgewiesene Kohlenstoff gibt Rätsel auf. Vor allem blieb ungeklärt, in welcher Form er vorliegt. Die Arbeitskreise um H.W. Kroto und R. Smalley simulierten die Weltraumbedingungen im Labor und verdampften Kohlenstoff. Überraschenderweise wiesen bestimmte Clustergrößen im Massenspektrum stark erhöhte Signalintensitäten auf, insbesondere ragte die einer Anzahl von 60 Kohlenstoffatomen entsprechende heraus. Zunächst ohne experimentellen Beweis wurde als Struktur ein käfigartiges Molekül formuliert, das einem gekappten Ikosaeder entspricht. Dieses zuerst zugeordnete C_{60} war aber nur die Spitze des Eisbergs. Daneben existiert eine ganze Serie molekularer Kohlenstoffallotrope, die dem gleichen Bauprinzip (Polygone aus zwölf Fünf- und beliebig vielen Sechsecken) gehorchend nur andere Anzahlen von Kohlenstoffatomen enthalten. Bis dahin waren nur unwägbar kleine Mengen dieser neuen allotropen Kohlenstoffformen zugänglich. Der Durchbruch gelang einige Jahre später W. Krätschmer und seinen Kooperationspartnern, die ein Verfahren zur Darstellung von Fullerenen in präparativen Mengen vorstellten. Damit erst war die Tür aufgestoßen zur Erforschung von Chemie und Physik dieser bis heute faszinierenden Stoffklasse.

Neben der den Betrachter unmittelbar ansprechenden Ästhetik der Fullerenmoleküle gibt es zahlreiche Aspekte, die die mit dem Aufbau der Materie befassten Wissenschaften herausfordern. Im Vordergrund steht dabei ohne Zweifel die Frage, wie es möglich ist, dass unter den extrem hohen Temperaturen im Lichtbogen (in der Größenordnung von 6000 K) sich Kohlenstoffatome zu einer derart hochsymmetrischen Anordnung zusammenfinden. Man kann sich kaum vorstellen, dass die ordnenden, strukturschaffenden Einflüsse (Bindungsenergie, Enthalpie) die Unordnung schaffenden Effekte (Temperaturbewegung, Entropie) unter den genannten Temperaturbedingungen überkompensieren. So

* Vortrag im Rahmen des wissenschaftlichen Kolloquiums anlässlich der Verleihung der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille am 21. Juni 2003 an Prof. Dr. rer.nat. Wolfgang Krätschmer.

erscheint der spontane Aufbau von C_{60} aus Bruchstücken C_1 bis etwa C_5 , der natürlich in vielen Einzelschritten erfolgt und der in Konkurrenz mit Zerfallsschritten ablaufen muß, ohne andere organisierende „Einflüsse“ kaum vorstellbar. Als eine denkbare Art der „Präorganisation“ unter den gegebenen Verhältnissen erscheint eine Ausrichtung von Kohlenstoffpartikeln oder -ketten im elektrostatischen Feld zwischen den beiden Kohlelektroden. Eine einfache Möglichkeit der Prüfung, ob elektrostatische Felder eine unabdingbare Voraussetzung für die Entstehung von Fullerenen sind, besteht in der Ausarbeitung eines alternativen, lichtbogenfreien Verfahrens. Weitere Motive hierfür liegen in einer gegenüber dem Lichtbogenverfahren besseren Kontrolle der Temperatur und einfacheren Variation des Kühlgases – beides Optionen, die für eine Optimierung des Herstellungsverfahrens bedeutsam sind, sei es im Hinblick auf eine hohe Fullerenausbeute generell oder – ein Fernziel – an einem bestimmten höheren Fulleren.

Das von uns ausgearbeitete neue Darstellungsverfahren beruht auf dem Verdampfen von Graphit durch induktives Erhitzen. Die Anlage gestattet eine präzise (pyrometrische) Temperaturmessung und -regelung direkt am verdampfenden Graphitwerkstück sowie den Einsatz verschiedener strömender und stehender Kühlgase und deren Rückgewinnung. Eine Option, die für die Gewinnung endohedraaler Fullerene eine besondere Bedeutung erlangt hat, ist die einfache und kontrollierte Ausführung von Experimenten zur simultanen Verdampfung von Kohlenstoff und verschiedenen Metallen oder Nichtmetallen.

Das Herzstück der Anlage, die als Prinzipskizze in Abb. 1 dargestellt ist, besteht aus der HF-Sendespule und dem aufnehmenden, meist zylinderförmig ausgebildeten Graphitbauteil, das von der Atmosphäre durch ein heliumdurchspültes Rohr aus Quarzglas isoliert ist. Im Bereich der Heizzone und der Niederschlagsflächen des fullerenhaltigen Rußes ist der Quarzglasmantel wassergekühlt. Eine unverzichtbare Komponente stellt ein Schutzrohr aus pyrolytischem Bornitrid dar, das als Hitzeschild zwischen aufgeheiztem Graphit und gekühltem Quarzglasrohr (Temperaturgradient: ca. 3000 K/cm) eingebracht wird.

Welch einen faszinierenden Reichtum an Formen und Phänomenen die neue Klasse der Kohlenstoffallotrope bietet, wird allein schon bei der Auflistung möglicher Käfiggrößen und ihrer Isomere deutlich. Selbst wenn man sich auf die stabilsten Vertreter beschränkt, in denen die Fünfecke der Polygone vollständig von Sechsecken umgeben sein sollen, geht die Zahl der möglichen Spezies in die Tausende (Abb. 2). Jede einzelne Spezies weist ein jeweils charakteristisches Spektrum chemischer und physikalischer Eigenschaften auf, die es zu erforschen gibt: hier liegt ein Betätigungsfeld, das noch Generationen von Wissenschaftlern beschäftigen wird.

Die Optionen für eine chemische Derivatisierung der Fullerene kann man in drei Gruppen einteilen. Einerseits kann die Veränderung an der Außenwand (exohedral), andererseits im Inneren (endohedral) vorgenommen werden, und schließlich läßt sich Kohlenstoff im Käfig durch andere (hetero) Elemente substituieren.

Wir haben alle drei Optionen genutzt und beispielsweise die Phosphafullerene $C_{59}P$ oder $C_{69}P$ im Hochfrequenzofen hergestellt und massenspektroskopisch identifiziert. Die Schwerpunkte unserer Aktivitäten liegen allerdings auf der exohedraalen und endohedraalen Modifizierung. Insbesondere nutzen wir die Stärken unserer Anlage für den Einschluß relativ niedrig siedender Metalle in die Kohlenstoffkäfige. Beispielsweise gelang die Her-

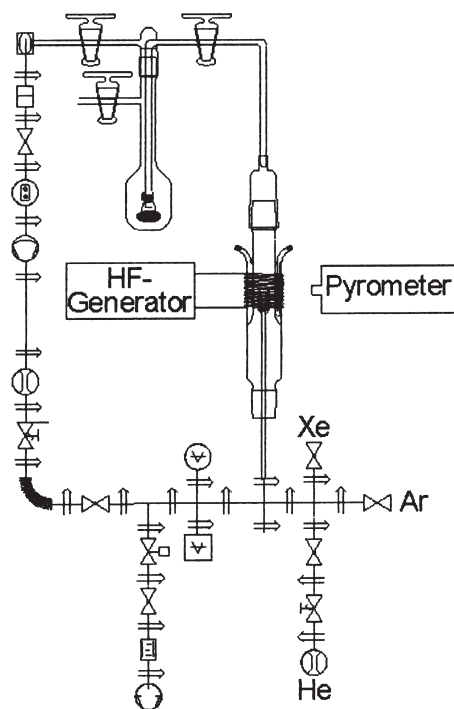


Abb. 1: Aufbau Hochfrequenz-Ofen

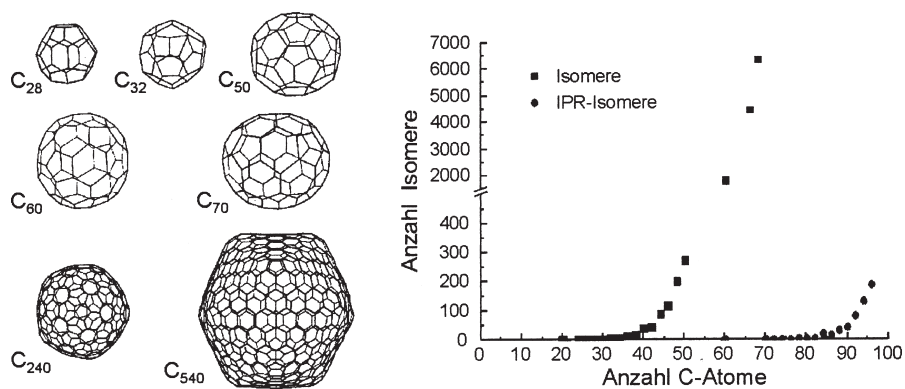
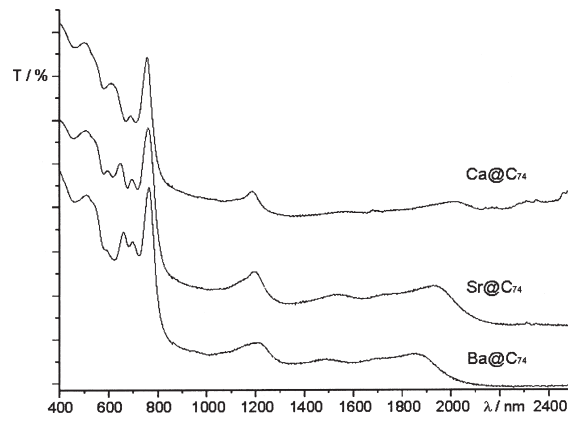
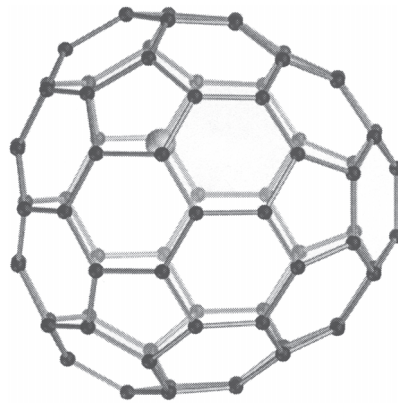
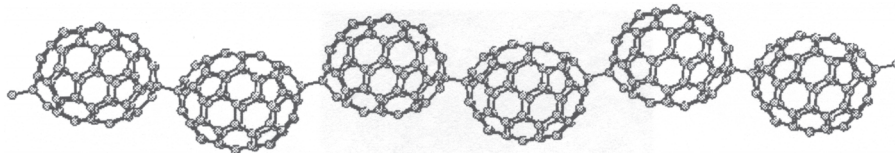


Abbildung 2: Familie der Fullerene

Abb. 3: VIS-NIR von M@C_{74} ($\text{M}=\text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}$)Abbildung 4: Molekulardynamische Modellierung von Ba@C_{74} Abbildung 5: Fulleren-Kette in $[\text{Sr}(\text{NH}_3)_8]\text{C}_{70} \times 3\text{NH}_3$

stellung und chromatographische Abtrennung von Ca@C_{74} , Sr@C_{74} und Ba@C_{74} in wägbaren Mengen, so dass eine spektroskopische Charakterisierung (Abb. 3) gelang und Versuche zur Züchtung von Kristallen anlaufen konnten. Das Ergebnis einer molekular-dynamischen Modellierung ist in Abb. 4 wiedergegeben.

Der hohe Entartungsgrad der Grenzorbitale, eine Folge der hohen Symmetrie der meisten Fullerene, sollte nach dem Jahn-Teller-Theorem zu Verzerrungen führen, sobald Elektronen hinzugefügt oder entfernt werden. Diese Vorhersage konnte bisher nicht experimentell überprüft werden, weil die Strukturbestimmungen mit Beugungsmethoden wegen der starken Neigung der Fullereineinheiten zur Fehlordnung im Kristall nicht die erforderliche Genauigkeit ergaben. Uns sind nun über den Weg der Kristallzüchtung bei tiefen Temperaturen erstmals präzise Strukturbestimmungen gelungen. Im Gegensatz zu den in der Literatur vertretenen Erwartungen, dass die Käfige eine globale Verzerrung erfahren, sind die Deformationen danach lokaler Art, also in bestimmten C-C-Bindungen lokalisiert. Im Falle der Reduktion von C_{70} erhielten wir überraschenderweise ein lineares Polymer (Abb. 5), wobei auch hier die Triebkraft für die Polymerisation in den lokalen Bindungsverzerrungen bis hin zu einem sp^3 -hybridisierten Kohlenstoffatom besteht, über das die intermolekulare Verknüpfung erfolgt.

Diese wenigen Beispiele belegen das oben schon erwähnte enorme Entwicklungspotenzial der Fullerene und ihre Bedeutung über die Grundlagenforschung hinaus. Insbesondere über die endohedralen (metallzentrierten) Fullerene kann gewissermaßen eine Vervielfältigung des Periodensystems der Elemente erreicht werden. Mit den Pseudoatomen (elementzentrierte Fullerene), die Durchmesser im Bereich von 1 nm aufweisen, ist dann eine Chemie möglich, die den Namen „Nanochemie“ wirklich verdient. Die Ausschöpfung dieser und anderer attraktiver und keineswegs unrealistischer Visionen stößt auf hohe Hürden, wobei eine der besonders kritischen in der Isolierung bestimmter Vertreter, abgesehen von C_{60} und C_{70} , in makroskopischen Mengen zu sehen ist.

Prof. Dr. Martin Jansen
Max-Planck-Institut für Festkörperforschung
Postfach 800 0665 · D-70506 Stuttgart

ANDREAS HIRSCH, Erlangen

Chemische Funktionalisierung von Fullerenen und Kohlenstoffnanoröhren

Bis zum Jahr 1990 spielte elementarer Kohlenstoff, vorliegend in den klassischen Formen Diamant und Graphit, für den präparativ arbeitenden Chemiker nur eine untergeordnete Rolle. Diese Situation änderte sich dramatisch, als Wolfgang Krätschmer und Donald Huffman eine Synthese von Fullerenen in makroskopischen Mengen publizierten. Bei den Fullerenen handelt es sich um sphärische molekulare allotrope Formen des Kohlenstoffs. Sie bilden jeweils ein geschlossenes Netzwerk, das exakt aus 12 Fünfringen und einer variablen Anzahl von Sechsringen besteht. Die entsprechenden Kohlenstoffatome sind in erster Näherung sp^2 hybridisiert. Das kleinste stabile und gleichzeitig das nach dem Krätschmer-Huffman-Verfahren am häufigsten gebildete Fulleren ist das Buckminsterfulleren C_{60} . Das C_{60} läßt sich aus dem Ruß, der bei dem Krätschmer-Huffman-Verfahren als Primärprodukt entsteht, durch Extraktion mit Toluol und anschließend durch weitere chromatographische Aufarbeitung, wobei höhere Fullerene wie C_{70} , C_{76} und C_{78} abgetrennt werden können, als Reinsubstanz darstellen.

Da das C_{60} in organischen Lösungsmitteln löslich ist, ergab sich für die präparativ arbeitenden Chemiker die faszinierende Möglichkeit, die chemischen Eigenschaften dieser Verbindungsklasse zu untersuchen, damit auch zu neuen Derivaten von C_{60} zu kommen und so dessen Eigenschaften mit denen von anderen Stoffklassen zu kombinieren. Es hat sich nämlich sehr schnell herausgestellt, daß das C_{60} über eine große Zahl von sehr interessanten und präzedenzlosen Eigenschaften verfügt. Dabei soll exemplarisch die leichte reversible Reduzierbarkeit bis zum Hexaanion, die interessanten photophysikalischen Eigenschaften, dessen sphärische hochsymmetrische Struktur und dessen Hohlraum angesprochen werden, der für die Einlagerung von Gastatomen und damit zur Bildung von endohedralen Fullerenen zur Verfügung steht.

Als organische Chemiker haben wir uns in den letzten zwölf Jahren besonders mit der exohedralen Chemie des C_{60} -Moleküls beschäftigt. Da das C_{60} -Molekül ein geschlossenes Netzwerk aus C-Atomen darstellt, welches über keine Ränder verfügt, an denen Additionsreaktionen durchgeführt werden könnten, bleibt als einziger Reaktionstyp die Addition von einem oder mehreren Addenden. Es hat sich sehr schnell herausgestellt, daß C_{60} in dieser Hinsicht tatsächlich eine vergleichsweise hohe Reaktivität aufweist. Diese Reaktivität ist bedingt durch die Krümmung des Netzwerkes. Denn die Krümmung bewirkt eine Einführung von Spannungsenergie. Man kann zeigen, daß die Addition von zwei Addenden an eine 6,6-Doppelbindung etwa 10 kcal/mol an Spannungsenergie abbaut. Schnell wurde eine Vielzahl von Reaktionen gefunden. Man kann zeigen, daß sich C_{60} hinsichtlich seiner

* Vortrag im Rahmen des wissenschaftlichen Kolloquiums anlässlich der Verleihung der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille an Prof. Dr. rer.nat. Wolfgang Krätschmer am 21. Juni 2002 in Braunschweig.

Reaktiviert in exohedralen Additionsreaktionen ähnlich wie ein elektronenarmes konjugiertes Polyolefin verhält. Zu typischen Reaktionen, die wir und andere Arbeitsgruppen gefunden haben, zählen Cycloaddition, die Addition von Radikalen, die Addition von Nucleophilen, die Addition von Übergangsmetallkomplexen. Eine Reaktion, die sich für die präparative Chemie mit C_{60} als besonders günstig herausgestellt hat, ist die nucleophile Cyclopropanierung von C_{60} mit Malonaten. Dabei wird sehr selektiv eine sogenannte 6,6-Doppelbindung, also eine Bindung zwischen zwei Sechsringen des Fullerenengerüsts angegriffen. Im Gegensatz zu den 5,6-Bindungen, die den anderen möglichen Bindungstyp im C_{60} darstellen, sind die 6,6-Bindungen verkürzt, weisen einen höheren olefinischen Charakter und damit auch eine höhere Reaktivität auf. Der Vorteil der nucleophilen Cyclopropanierungsreaktion ist, daß eine große Vielzahl von Resten, die an die Malonateinheit verestert sind, unter den gegebenen Reaktionsbedingungen toleriert werden, und daß damit die unterschiedlichsten funktionalen Einheiten kovalent mit dem C_{60} -Molekül verknüpft werden können.

Wir haben eine Vielzahl von solchen Addukten hergestellt. Exemplarisch sei nur ein Beispiel erwähnt, bei dem wir zwei dendritische Äste an ein Malonat gekoppelt haben und diese dendritischen Äste enthalten jeweils neun Carboxylgruppen in ihrer Peripherie. Man hat also ein Monoaddukt von C_{60} vorliegen, das eine ausgezeichnete Wasserlöslichkeit aufweist. So können in neutralem Wasser etwa 34 mg/ml gelöst werden, ohne daß dabei eine Aggregation eintritt. In dieser Verbindung wurden die biologischen Eigenschaften intensiv untersucht und es hat sich herausgestellt, daß z. B. die HIV-Protease und die reverse Transkriptase gehemmt werden kann. Dabei ist diese Verbindung nicht toxisch und kann vollständig durch die Nieren wieder ausgeschieden werden. Ein weiteres wichtiges Charakteristikum dieses dendritischen wasserlöslichen Monoaddukts von C_{60} ist, daß es bei pH 7 etwa 16 negative Ladungen aufweist, d. h. daß eine weitgehende Deprotonierung der terminalen Carboxylgruppen vorliegt. Damit liegt gleichzeitig ein Polyelektrolyt vor, der im Prinzip zur Ausbildung von elektrostatisch gebundenen Komplexen dienen sollte. Dies haben wir in der Tat gezeigt, indem wir Cytochrom c, ein wichtiges Redoxprotein, verwendet haben und dieses mit diesem wasserlöslichen Monoaddukt umgesetzt haben. Dabei ist zu bemerken, daß das Cytochrom c unter neutralen Bedingungen über 8 positive Ladungen verfügt und damit eine starke elektrostatische Wechselwirkung mit dem dendritischen Monoaddukt ausübt. Photophysikalische Untersuchungen an diesem System haben gezeigt, daß nach Anregung von Licht ein Elektron von dem Porphyrinanteil des Cytochroms C auf das Fullerenengerüst übertragen werden kann und damit ein ladungsseparierter Zustand erzeugt wird.

Neben Monoaddukten können aber auch Mehrfachaddukte von C_{60} mit Malonaten hergestellt werden. Besonders reizvoll sind dabei Hexakisaddukte, bei denen ein T_h -symmetrisches Additionsmuster vorliegt, das heißt, daß das C_{60} annähernd oktaedrisch funktionalisiert ist. Dieses Strukturmotiv ist bislang in der organischen Chemie einmalig. Wir haben nun sehr effiziente Synthesemethoden entwickelt, um zu solchen Hexakisaddukten von C_{60} und einer Vielzahl von Malonaten in sehr guten Ausbeuten zu gelangen. Dabei haben wir uns dem Prinzip der reversiblen Templataktivierung bedient. Hierbei wird in einer vorgelagerten Gleichgewichtsreaktion C_{60} mit Dimethylantracen umgesetzt, welches reversible Diels-Alder-Reaktionen durchführt. Damit werden Vorläuferadditions-

muster zu dem oktaedrischen Additionsmuster der Hexakisaddukte gebildet, die dann sehr selektiv als Schablonen für die Anbindung von Malonaten in den verbleibenden oktahedralen Positionen dienen. Gleichzeitig werden die reversibel gebundenen Dimethylanthracenaddenden durch die irreversibel bindenden Malonataddenden verdrängt. Man gelangt auf diese Weise zu Hexakisaddukten in einer Eintopfreaktion in Ausbeuten bis zu 50 %.

Das reizvolle an diesem Ansatz ist es, daß neben Hexakisaddukten, bei denen nur eine Addendensorte gebunden ist, auch solche erzeugt werden können, bei denen man Kombinationen von verschiedenen Addenden in oktahedralen Positionen vorliegen hat. Ein Beispiel ist ein 3:3-Addukt, bei denen drei chiralen Bisoxazolinaddenden und drei dendritische Addenden gebunden sind. Dabei handelt es sich um ein chirales System mit Schraubensymmetrie, das wir enantiomerenrein darstellen können und auf dessen Eigenschaften als Modellsystem für Enzyme untersuchen. Uns ist es sogar gelungen, durch Vergleich mit theoretischen Berechnungen und Analyse von dessen CD-Spektren die absolute Konfiguration dieser Systeme zuzuordnen.

Ein weiteres interessantes Beispiel ist ein 5:1-Addukt, bei dem ein Malonataddend wieder die oben beschriebenen dendritischen Reste mit terminalen Carboxylgruppen trägt und fünf weitere Malonate in den oktahedralen Positionen gebunden sind, die über lange Alkylketten verfügen. Damit hat man ein globuläres amphiphiles System erzeugt, das in Wasser Liposomen ausbildet, die denen von natürlichen Zellmembranen sehr ähnlich sind. Man hat auch hier sehr kleine kritische Micellbildungskonzentrationen, also die Tendenz vorliegen, daß Liposomen sehr leicht ausgebildet werden können. Diese Liposomen haben im Gegensatz zu natürlichen Zellmembranen den Vorteil, daß durch Veränderung des pH-Wertes die Stabilität der Membran variiert werden kann. So können wir zeigen, daß bei hohen pH-Werten, wo also die meisten Carboxylgruppen deprotoniert vorliegen, die Liposomen in monomere Bausteine zerfallen und vollständig solvatisiert vorliegen, während bei niedrigen pH-Werten, nach erfolgter Protonierung der Carboxylgruppen und der damit verbundenen geringeren elektrostatischen Abstoßung der Baueinheiten bevorzugt die Liposomstruktur gebildet wird.

Eine harte Nuß, die im Bereich der Fullerenchemie zu knacken war, ist die gezielte Kontrolle über Mehrfachadditionen zu erhalten. Ein Beispiel, bei dem dies sehr leicht funktioniert ist die oben gezeigte Templataktivierungsmethode zur gezielten Erzeugung von T_h -symmetrischen Hexaadditionsmustern. Größere Probleme macht jedoch die gezielte Erzeugung von isomerenreinen Bisaddukten. Wichtige Beiträge in diesem Zusammenhang wurden in den letzten Jahren von der Arbeitsgruppe um Francois Diederich geleistet. Dort hat man ein Konzept entwickelt, bei dem zwei Malonate durch einen starren, teilweise aufwendig zu synthetisierenden Spacer verknüpft wurden. Diese beiden Malonate wurden dann mit C_{60} zur Reaktion gebracht und, bedingt durch die sterische Restriktion, die durch den Spacer eingeführt worden ist, hat man dann bevorzugt oder teilweise ausschließlich ganz bestimmte Bisadditionsmuster von C_{60} erhalten. Dabei soll erwähnt werden, daß im Prinzip acht verschiedene regioisomere Bisaddukte von C_{60} gebildet werden können. Trotzdem war auch dieser Ansatz immer noch mit Nachteilen behaftet, weil, wie schon erwähnt, die Regioselektivität immer noch nicht 100 % war und gleichzeitig die Tethersysteme vergleichsweise schwierig zu synthetisieren sind.

Wir haben kürzlich mit einem neuen Ansatz beschäftigt, wobei wir makrocyclische Malonate verwenden, bei denen die Malonsäuresysteme einfach durch Alkylketten miteinander verbunden sind. Konzeptionell sind hier zwei Möglichkeiten denkbar: 1. Die Verwendung von cyclischen Oligomalonaten mit identischen Verbrückungseinheiten und 2. Monocyclische Oligomalonate mit unterschiedlichen Verbrückungseinheiten. Im ersten Fall sollten, was durch einfache Modellbetrachtungen gezeigt werden kann, bevorzugt Additionsmuster mit Rotationssymmetrie entstehen und im zweiten Fall solche Additionsmuster aufgebaut werden, die über eine Spiegelebene verfügen. Wir haben nun zeigen können, daß diese Vermutung in der Tat richtig ist, indem wir z. B. Bismalonate eingesetzt haben, die über zwei identische Alkylketten als Verbrückungseinheiten verfügen und dann in hundertprozentiger Regioselektivität gezielt solche Bisaddukte erhalten, bei denen eine Rotationssymmetrie vorhanden ist. Dies ist z. B. ein *trans*-3-Additionsmuster oder ein *trans*-1-Additionsmuster. Auf der anderen Seite, unter Verwendung von Bismalonaten mit einer langen und einer kurzen Alkylkette, können z. B. C_s -symmetrische Additionsmuster erhalten werden. Auf ähnliche Weise können sehr selektiv hochsymmetrische Trisaddukte von C_{60} , die z. B. über eine C_3 - oder D_3 -Symmetrie verfügen, mit diesem neuen Konzept in äußerst einfacher Weise aufgebaut werden.

Wir haben unsere umfangreiche Erfahrung auf dem Gebiet der exohedralen Funktionalisierung von Fullerenen kürzlich auch auf die Derivatisierung von einwandigen Kohlenstoffnanoröhren (SWCNT) angewandt. Bei den Kohlenstoffnanoröhren handelt es sich um eine weitere, sehr interessante Modifikation des Kohlenstoffs. Diese Systeme weisen eine Vielzahl von herausragenden elektronischen und mechanischen Eigenschaften auf. Bislang haben sich hauptsächlich Physiker dieser Substanzklasse zugewandt und vorwiegend anhand von Einzelmoleküluntersuchung das interessante Potential dieser Stoffklasse untersucht. Für technologische Anwendungen ist es jedoch wichtig, daß ganze Ensembles gezielt manipuliert werden können. Dafür ist eine chemische Funktionalisierung notwendig. Mit theoretischen Untersuchungen konnten wir zeigen, daß bedingt durch die niedrigere Krümmung und die Art der Krümmung des Kohlenstoffnetzwerkes die Kohlenstoffnanoröhren eine niedrigere Reaktivität gegenüber exohedralen Additionen aufweisen. Deshalb sollte es nur möglich sein, mit sehr reaktiven Addenden erfolgreich zu Adduktbildungen zu gelangen. Unter Verwendung von Nitrenen, Carbenen oder Radikalen haben wir in der Tat zeigen können, daß exohedrale Funktionalisierungen von Kohlenstoffnanoröhren möglich sind. Dabei entstehen Nanoröhren, die in organischen Lösungsmitteln löslich sind und dabei gleichzeitig wichtige herausragende Eigenschaften, wie z. B. das metallische Verhalten nicht verlieren. Damit ist ein wichtiger Schritt im Bereich der Erforschung der Kohlenstoffnanoröhren getan.

Es wird eine künftige Herausforderung darstellen, nun die Kohlenstoffnanoröhren weiter, z. B. im Bezug auf die Chiralität zu reinigen und charakterisieren und sie technologischen Anwendungen, wie z. B. der Einarbeitung in Compositmaterialien mit völlig neuartigen Eigenschaften zugänglich zu machen.

Prof. Dr. A. Hirsch
Institut für Organische Chemie
Henkestr. 42 · D-91054 Erlangen

KAYLENE ATKINSON & SIEGMAR ROTH, MPI Stuttgart

Carbon Nanotubes – Quantum Wires to Artificial Muscles

Introduction

Carbon nanotube research, whilst still in its infancy, has come a long way since their discovery in 1991 [1]. Considerable characterisation work is still to be done on nanotubes, however this requires a reliable production method of the raw material in sufficient volumes to enable thorough experimental analysis. As part of his fullerene research, fullerenes being of the same carbon family as carbon nanotubes, Wolfgang Kraetschmer made a major breakthrough in synthesis technology in 1990, with the resultant device now bearing his name and being used in nanotechnology research groups around the world.

Fullerene, C_{60} , is a nearly spherical molecule composed of 60 carbon atoms arranged in pentagons and hexagons, like a soccer ball. Fullerenes are molecules with a well determined finite size (0.71 nm for C_{60}). Nanotubes, on the other hand, are tiny needle-like structures. A nanotube can be considered as a seamless roll of a graphene sheet, with a typical diameter of 1 nm and lengths up to microns. Nanotubes are molecules in their cross section, but along the axis they are infinite solids. Nanotube physics is an interesting superposition of molecular physics in the cross section and solid state physics along the axis.

Synthesis of Carbon Nanotubes

Nanotubes are a special kind of soot particle, found in cases of incomplete combustion of carbon based materials. However, to optimise the amount of nanotubes, and to isolate single walled carbon nanotubes from multi walled carbon nanotubes (concentric layers of tubes stacked inside one another) synthetic synthesis methods have been developed. The most common route utilises the carbon arc method, the same method Kraetschmer used for his mass production of fullerenes. Figure 1 shows a cross sectional view of the Kraetschmer generator.

The essential features are two graphite rods connected to a power supply. The electric arc between the rods evaporates the graphite. The hot carbon plasma collides with cold inert gas and carbon condenses as soot. If the reaction parameters are right (power, gas flow etc) nanotubes are formed, mostly multi-walled nanotubes, however if a catalyst is mixed to the graphite rods the nanotubes are single walled [2]. Common catalysts are particles of iron, nickel, cobalt and alloys thereof [3].

Another effective method for producing nanotubes is by laser ablation of graphite. This involves direct laser evaporation of a composite graphite-transition metal (e.g. Co,

* Vortrag im Rahmen des wissenschaftlichen Kolloquiums anlässlich der Verleihung der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille an Prof. Dr rer.nat. Wolfgang Krätschmer am 21. Juni 2002 in Braunschweig.

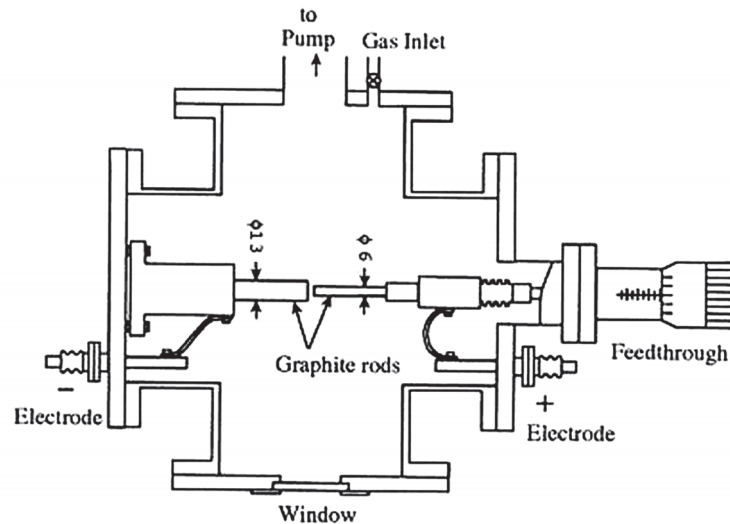


Fig. 1: Schematic of a Kraetschmer generator. (After R. Saito, G. Dresselhaus and M.S. Dresselhaus Physical Properties of Carbon Nanotubes. Imperial College Press, 1998.

Ni) electrode, resulting in a soot, rich in single walled tubes, being deposited in the cooler parts of the reaction chamber [4].

A third process, which has the advantage of being more easily up-scaled to produce large quantities, is thermal decomposition of hydrocarbons, known as chemical vapour deposition (CVD) [5]. CVD can be used to grow bulk phase tubes or templated patterns. Hydrocarbons like acetylene or benzene are heated over catalyst particles and depending on the choice of process parameters, single-walled or multi-walled tubes are obtained or nanofibers and various transition forms between fibers and tubes. A more specific decomposition process, using high pressure and carbon monoxide as the carbon source, results in high purity single walled carbon nanotubes. This method is commonly referred to by the acronym HiPCO (high pressure disproportionation of CO) [6].

Electrical Properties – SWNT and Peapod Transistors

Depending on the helicity of the tube, that is, the angle at which the graphene sheet is rolled, the tube exhibits either metallic or semiconducting behaviour. The electronic character has been the basis for investigating single walled carbon nanotubes as quantum wires for use in electronic device assembly [7]. The underlying physics is that electrical conduction occurs through well separated, discrete electron states that are coherent over the distance between the contacts (typically a few hundred nanometres) and the resistance is independent of the length of the tube (whereas the resistance is proportional to the length for an ordinary wire). There are no losses along the tube (no Joule heating), as the losses occur at

the contacts only. This type of charge transport is called ballistic. The conductance along the tube is in integer multiples of the conductance quantum, which is of the order of $100\mu\text{S}$. This conductance quantum is a combination of fundamental physical constants, namely the electric charge and Planck's constant: $G_0 = e^2/h$. The conductance is therefore a measure for the number of wave guide modes that can propagate in the tube.

Electrical transport of single walled carbon nanotubes has been extensively investigated, revealing fingerprints of ballistic transport, Luttinger-liquid behaviour, and single-electron effects, depending on the details of the experimental set up, and ultimately leading to the application of carbon nanotubes in single molecule field-effect transistors [7]. An extreme case of nanostructuring is illustrated by peapods. 'Peapod' is the term used to describe C_{60} molecules [8] or endohedral metallofullerenes [9] encapsulated within a carbon nanotube. Exciting transport properties are being observed on these new carbon materials.

Experiments carried out at our Institut have indicated that a semiconducting single-walled nanotube doped with Dy@C_{82} indicates temperature dependent electron doping on SWNTs and furthermore, that the semiconducting tube can function as either *p* type or *n* type, depending on the charge transfer [11]. The transistor set up, schematically shown in Figure 2a, enabled observation of a transition from *p* to *n* conduction when the samples were cooled from room temperature to 265K. Upon further cooling to temperatures of about 215K, the samples became metal-like. The conductance spectrum in Figure 2b reveals important information on the doping profile and the quantized charging effect of the peapod transistor system [10].

These results are expected to impact carbon-nanotube based molecular electronics since the metallofullerene functionalisation observed here is more stable than alkaline metal-

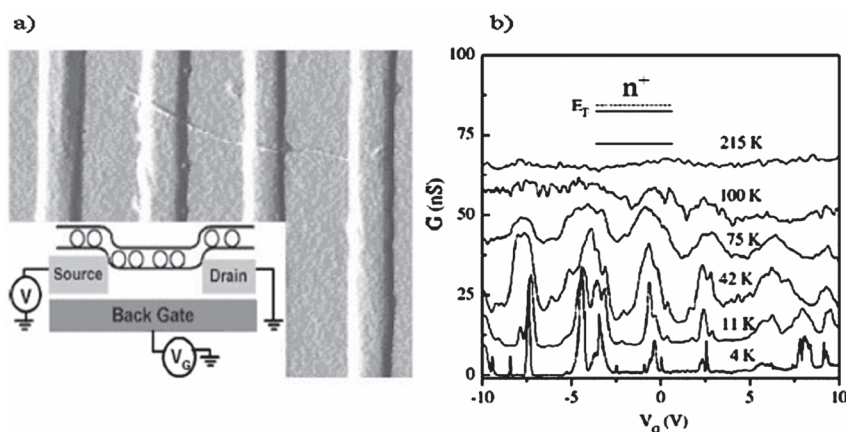


Fig. 2.: a) Atomic force micrograph of individual Dy@C_{82} -SWNT peapod 1.5nm in height. Inset: Schematic of the measurement layout. b) Gate voltage dependence of conductance at a source/drain voltage of 4mV (curves displaced for clarity). Inset: Schematic plot of the band diagram [11].

doped nanotubes [11] in ambient environments. One can envisage an all nanotube transistor, where metallic tubes could function as interconnects [12] and semiconducting tubes can function as field-effect channels [13] or nanorectifiers [14], with the resultant device more of an electromechanical transistor than traditional field-effect transistor.

Mechanical Properties – Nanoactuators from Buckypaper

Carbon nanotubes, with a theoretical Young's Modulus of 1TPa, are among the strongest solids and can be described as the ultimate carbon fibre. This is important in composite technology, where nanotubes can be incorporated to reinforce the host material. The size and strength of carbon nanotubes also make them ideal candidates for actuating applications, since charge injection into the tube results in the conversion of electrical energy into mechanical energy (actuation) [15]. Actuation has been observed on a macroscale, with entangled single-walled nanotube mats (known as buckypaper) measuring elastic moduli of up to 1.2GPa for an input voltage of only 1-2V [16]. The observed actuation forces are well below those determined for individual nanotube bundles, as the buckypaper is not optimised in terms of nanotube alignment. Nanoscale actuators based on single nanotubes do not have these problems, and research work is underway at our Institut on measuring the actuation of a suspended single-walled tube, both in an electrochemical cell [17] and solid state set-up [18]. The long term goal is to incorporate nanotube actuators in nanodevices, for instance a nanopump as illustrated in Figure 3.

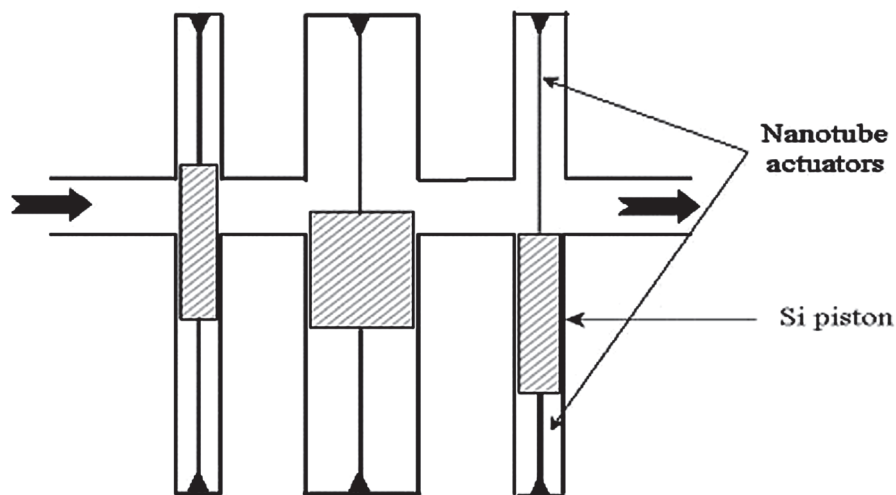


Fig.3: Schematic of a nanoscale pump utilising nanotube actuators as the driving force for the pistons.

However, as described by Baughman [19], for applications outside the nano-realm, individual tubes are too small to exploit their remarkable mechanical properties. A spinning process developed by Vigolo et al produced carbon fibres using unpurified nanotubes (up to 50% impurities), which were measured to have an elastic modulus of up to 15GPa [20]. While this value is substantially lower than the ~600GPa modulus for an individual nanotube [21], it is over an order of magnitude higher than for single-walled buckypaper [22]. It is anticipated that actuation will improve if the spinning process can be modified to generate fibres comprising mostly single-walled carbon nanotubes, and realise applications such as artificial muscles and nanomechanics [23].

References

- [1] S. IIJIMA, *Nature* **354**, 56 (1991)
- [2] C. JOURNET et al., *Nature* **388**, 756 (1997)
- [3] Y. SAITO et al., *J. Phys. Chem.* **99**, 16076 (1995)
- [4] T. GUO et al., *Chem. Phys. Lett* **243**, 49 (1995); A. THESS et al, *Science* **273**, 483 (1996)
- [5] Z.F. REN et al., *Science* **282**, 1105 (1998), L. DAI et al, *J. Am. Chem. Soc.* **121**, 10832 (1999)
- [6] P. NIKOLAEV et al., *Chem. Phys. Lett.* **313**, 91 (1999), M. BRONIKOWSKI et al, *J. Vac. Sci. Technol. A.* **19**, 1800 (2001)
- [7] S.J. TANS et al., *Nature* **386**, 474 (1997)
- [8] B.W. SMITH et al., *Nature* **396**, 323 (1998)
- [9] K. SUENAGA et al., *Science* **290**, 2280 (2000)
- [10] P.-W. CHIU et al., *Appl. Phys. Lett.* **79**, 3845 (2001)
- [11] A. M. RAO et al., *Nature* **388**, 257 (1997), J. KONG et al, *Appl. Phys. Lett.* **77**, 3977 (2000)
- [12] P.-W. CHIU et al., *Appl. Phys. Lett.* **80**, 3811 (2002)
- [13] S. J. TANS et al., *Nature* **393**, 49 (1998)
- [14] R. D. ANTONOV & A. T. JOHNSON, *Phys. Rev. Lett.* **83**, 3274 (1999)
- [15] Theory - M. KERTESZ et al., *Abstracts of the Papers of the American Chemical Society*, 22 August 1999
- [16] R. BAUGHMAN et al., *Science* **284**, 1340 (1999)
- [17] A. MINETT et al., *Electronic Properties of Molecular Materials* ed. by H. Kuzmany et al AIP 591, New York 2001, pp 585 - 589
- [18] G.-T. KIM et al., *Appl. Phys. Lett.* **80**, 1815 (2002)
- [19] R. BAUGHMAN, *Science* **290**, 1310 (2000)

- [20] B. VIGOLO et al., *Science* **290**, 1331 (2000)
- [21] G.GAO et al., *Nanotechnology* **9**, 184 (1998)
- [22] A. RINZLER et al., *Appl. Phys. A.* **67**, 29 (1998)
- [23] A. MINETT et al, *Curr. Appl. Phys.* **2**, 61 (2002)

Kaylene Atkinson & Siegmur Roth
Synthetic Nanostructures Group
Max-Planck-Institut für Festkörperforschung
Heisenbergstr. 1 · D-70569 Stuttgart

FESTVERSAMMLUNG IM ALTSTADTRATHAUS

PROF. DR.RER.NAT. JOACHIM KLEIN

Präsident der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

Begrüßung und Bericht

Meine sehr verehrten Damen und Herren,
hochansehnliche Festversammlung,

wie in den vergangenen 58 Jahren hat die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft – eine Akademie der Wissenschaften – zu ihrer festlichen Jahresversammlung eingeladen – und dass Sie – verehrte Anwesende – in so großer Zahl unserer Einladung gefolgt sind, ehrt uns und ist uns eine Freude. Sie bezeugen damit Ihr Interesse an unserer Arbeit und Ihre verschiedentlich begründete Verbundenheit mit unserer Institution: Beides, das Interesse und die Verbundenheit, sind Zeichen Ihrer Wertschätzung, die wir dankbar entgegen nehmen und als Ansporn für die Arbeit in der Zukunft betrachten. In diesem Sinne heiße ich Sie alle in unserer Mitte im festlich historischen Rahmen der Dornse des Altstadtrathauses auf das Herzlichste willkommen.

Nach dem traditionellen Bericht des Präsidenten über das vergangene akademische Jahr und einigen Ausführungen zu aktuellen Aufgaben und Zielen unserer Gesellschaft steht die Verleihung der Gaußmedaille des Jahres 2002 als wissenschaftlicher Höhepunkt im Zentrum unserer Veranstaltung – dies beinhaltet die Laudatio auf den Preisträger sowie den wissenschaftlichen Vortrag des Preisträgers. Abweichend von dem traditionellen Vorgehen, diese ununterbrochene Folge des gesprochenen Wortes gewissermaßen dekorativ durch musikalische Bruchstücke einzurahmen, möchten wir es mit einer Programmvariante versuchen: Ein musikalisches Intermezzo mit einem in sich geschlossenen (Kurz-)Programm soll der Musik den ihr zukommenden künstlerischen Eigenwert und Ihnen, verehrte Gäste, als Unterbrechung des Redeflusses auch einen eigenständigen Kunstgenuss vermitteln. Dass wir dabei – unter Umgehung der konventionellen Musik – die Schlagzeug-Variante gewählt haben, kommt erschwerend hinzu, aber ich bin so gut wie sicher, dass Ihnen diese ungewöhnliche Interpretation gefallen und neue Klangerlebnisse vermitteln wird. Garant für den Erfolg dieses Experiments, das wir uns gestatten und Ihnen zumuten, ist das Ensemble „Schlagzeug total“ der Städtischen Musikschule, dem unter Leitung von Herrn Daniel Keding vier weitere Musikerinnen und Musiker angehören, und ich darf bereits jetzt sagen, dass wir uns auf ihre Darbietung „der anderen Art“ sehr freuen.

Nach dieser allgemeinen Einleitung sieht sich der Begrüßungsredner regelmäßig zweierlei Versuchungen ausgesetzt: Versuchung 1 ist die unpersönliche, aber im Interesse des Zeitbudgets auch mutige Kurzvariante, auf die Begrüßung einzelner Anwesender ganz zu verzichten und es bei der pauschalen Begrüßung aller Gäste zu belassen. Versuchung 2 ist die etwas zeitraubende Variante der persönlichen Begrüßung einzelner Gäste – wobei die Auswahl und die Reihenfolge der Nennung durchaus Gefahren in sich birgt.

Wenn ich nun – mit Ihrem Einverständnis – der 2. Versuchung erliege, so tue ich dies, weil ich damit nicht nur verdienten Dank an die jeweils Angesprochenen zum Ausdruck bringen kann, sondern weil durch die kurze Würdigung der gegenseitigen Bezüge insgesamt ein Bild der vielfältigen Verknüpfung unserer wissenschaftlichen Akademie mit dem Umfeld entsteht – und dieser unserer Positionierung messe ich eine hohe Bedeutung zu.

Es ist ein guter Brauch, bei diesem Begrüßungsreigen mit der Stadt Braunschweig zu beginnen, denn deren Gastfreundschaft haben wir es zu verdanken, dass wir unsere Veranstaltung in diesem schönen Rahmen durchführen können – sowie im Anschluss an unsere Feierstunde durch einen Empfang des Herrn Oberbürgermeisters geehrt werden. Als Repräsentantin der Stadt darf ich heute unsere Bürgermeisterin, Frau Friederike Harlfinger, herzlich willkommen heißen. Nicht nur hier, sondern auch bei vielen anderen Anlässen dokumentieren Sie durch Ihre Anwesenheit Ihr Interesse am Brückenschlag zur Wissenschaft, auch dafür dürfen wir Ihnen danken.

Aufgrund der besonderen terminlichen Verpflichtungen war es Herrn Oberbürgermeister Dr. Hoffmann leider nicht möglich, den ganzen Nachmittag mit uns zu verbringen. Vor die Wahl seiner passiven Präsenz in dieser Festsitzung oder seiner aktiven Präsenz beim anschließenden Empfang der Stadt gestellt, haben wir uns für die 2. Variante entschieden.

Und dann ist es mir wichtig, wenn ich auch unseren Oberbürgermeister a.D. Werner Steffens herzlich begrüße und ihm nochmals ein offizielles Wort des aufrichtigen Dankes für seine langjährige treue Begleitung und sein stetiges Interesse an unserer Arbeit sage.

Als Repräsentanten unserer Stadt im Bundestag bzw. im Landtag begrüße ich herzlich Frau Dr. Carola Reimann und Frau Isolde Saalman. Sie tragen interessanterweise beide die Silbe „Mann“ in Ihrem Namen, für mich ein Zeichen dafür, dass Sie als Frau „Manns“ genug sind, die Anliegen von Wissenschaft und Forschung in den Parlamenten mit Nachdruck und Erfolg zu vertreten.

Dann freue ich mich besonders, dass Herr Peter-Jürgen Lesemann, Geschäftsführer der Braunschweiger Zeitung, heute den Weg zu uns gefunden hat. Die Aufgeschlossenheit Ihrer Zeitung für die Fragen von Forschung und Lehre ist bemerkenswert und für das Selbstverständnis unserer Region von hoher Bedeutung.

Nach seiner Amtseinführung Ende vergangenen Jahres ist der Bischof der Evangelischen Landeskirche, Herr Dr. Friedrich Weber, unter uns. Sie haben sich in Ihrer kurzen Amtszeit bereits erkennbar als „Mann vor Ort“ positioniert und das Gespräch mit der Wissenschaft aufgenommen. Mit meinem herzlichen Willkommensgruß biete ich Ihnen auch unsere Bereitschaft zum intensiven Dialog von Kirche und Wissenschaft an.

Natürlich liegt uns die wissenschaftliche Partnerschaft zu den Akademien in Deutschland besonders am Herzen. Es ist mir daher eine besondere Freude, dass die Herren Heinrich Nöth, Präsident der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Gotthard Lerchner, Präsident der Sächsischen Akademie der Wissenschaften sowie Gustav Adolf Lehmann als Vizepräsident und Hans-Georg Wagner als Generalsekretär der Göttinger Akademie der Wissenschaften heute zu uns gekommen sind. Es wäre schön, wenn es uns gemeinsam gelänge, den Brückenschlag zur Union der deutschen Akademien weiter zu intensivieren.

Das wissenschaftliche Potenzial unserer Akademie schöpfen wir vor allem aus dem reichhaltigen Reservoir der drei technisch orientierten Universitäten des Dreiecks Clausthal – Hannover – Braunschweig, die auch im Consortium Technicum eine Allianz gebildet haben. So begrüße ich sehr herzlich die Präsidenten Ludwig Schätzl aus Hannover und Jochen Litterst aus Braunschweig sowie Herrn Prorektor Hans-Peter Beck aus Clausthal. Ich weiß es zu schätzen, dass wir uns in gemeinsamen Zielen eng verbunden fühlen.

In zunehmendem Maße – dies wird durch die Tage der Geo-Wissenschaften am vergangenen Wochenende unter Beweis gestellt – gewinnt die ForschungsRegion Braunschweig an Profil. Aus diesem Kreise – in dem auch die BWG präsent ist – darf ich als meinen Nach-Nachfolger in der Leitung der GBF Herrn Rudi Balling sowie die Leiter unserer Museen, die Herren Gerd Biegel und Jochen Luckhardt, herzlich begrüßen.

Die Intensivierung der Kontakte zwischen Wissenschaft und Wirtschaft ist mir ein besonderes Anliegen. Deshalb heiße ich unter uns die Herren Matthias Battefeld, Deutsche Bank, Wolf Horenburg, Wolters AG, Joachim Salewski, Siemens AG, und Dr. Henrich Wilckens, BKB, sehr herzlich willkommen. Schön, dass Sie sich damit gewissermaßen einen Schritt auf uns zu bewegt haben.

Das wissenschaftliche Geschehen dieses Festtages wird durch die Verleihung der Gauß-medaille bestimmt. So ist es schließlich eine besondere Freude, dass ich Sie, lieber Herr Krätschmer, gemeinsam mit Ihrer Frau Gemahlin, in unserer Mitte willkommen heißen darf – Sie geben uns die Ehre, Sie ehren zu dürfen.

Warum und wofür wir Sie im Einzelnen ehren dürfen, werden Sie, lieber Herr Heidberg, in Ihrer Laudatio begründen – dafür bereits vorab unseren herzlichen Dank.

Das wissenschaftliche Thema des Tages – die Welt der Chemie, Physik und Biologie der Fullerene – war bereits Gegenstand des wissenschaftlichen Kolloquiums am heutigen Vormittag.

Mit Ihren Vorträgen haben Sie, Herr Jansen, Herr Ahlrichs, Herr Hirsch und Herr Roth das faszinierende Bild eines wissenschaftlichen Themenfeldes entworfen, das sowohl in der Grundlagenforschung als auch im Anwendungsbereich enorme Perspektiven erkennen lässt. Wir danken Ihnen herzlich, dass Sie zu Ehren des Preisträgers zu uns gekommen sind, um mit uns Ihr Wissen und Ihre Einsichten zu teilen.

Für die Vorbereitung und Moderation des Kolloquiums möchte ich unseren Mitgliedern Joachim Heidberg und Henning Hopf ein herzliches Dankeschön sagen.

Schließlich heiße ich Sie alle, die Sie aus den verschiedenen Bereichen der Wissenschaft, Politik, Verwaltungsbehörden, Wirtschaft, der Verbände und aus persönlichem Interesse zu uns gekommen sind, sehr herzlich willkommen.

Und nach allen Gästen begrüße ich nicht weniger herzlich alle unsere Mitglieder – insbesondere diejenigen, die im nun abgelaufenen Jahr neu in unserer Mitte sind – sowie die Witwen unserer früheren Mitglieder, die uns ihre Verbundenheit bewahrt haben.

Damit darf ich mich nun dem Bericht über das vergangene akademische Jahr 2001/2002 zuwenden.

Nachrufe

Wie immer habe ich zu Beginn die traurige Verpflichtung, derjenigen Mitglieder zu gedenken, die der Tod aus unserer Mitte gerissen hat.

Es verstarben im Berichtsjahr:

- 22.06.2001 Hans-Jürgen **Nitz**, Dr.phil., Prof.em. für Kulturgeographie an der Georg-August-Universität Göttingen. Ordentliches Mitglied in der Klasse für Geisteswissenschaften seit 1989, im Alter von 71 Jahren
- 26.06.2001 Hans-Joachim **Wierig**, Dr.-Ing. Prof.em. für Baustoffkunde an der Universität Hannover. Ordentliches Mitglied in der Klasse für Ingenieurwissenschaften (vormals Klasse für Bauwissenschaften) seit 1983, im Alter von 74 Jahren
- 01.11.2001 Herbert **Billib**, Dr.-Ing. Dr.nat.techn.h.c., Prof.em. für Wasserwirtschaft, Hydrologie, Landwirtschaftlicher Wasserbau an der Universität Hannover. Ordentliches Mitglied in der Klasse für Ingenieurwissenschaften (vormals Klasse für Bauwissenschaften) seit 1965, im Alter von 97 Jahren
- 24.12.2001 Hilmar **Schumann**, Dr.phil.habil., Prof.em. für Mineralogie an der Technischen Universität Braunschweig. Ordentliches Mitglied in der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften seit 1964, im Alter von 99 Jahren
- 22.02.2002 Hans-Joachim **Bogen**, Dr.rer.nat., Prof. em. für Botanik an der Technischen Universität Braunschweig. Ordentliches Mitglied in der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften seit 1957, im Alter von 89 Jahren
- 15.03.2002 Wolfgang **Triebel**, Oberregierungsrat a.D., Dr.-Ing., Prof. für Bauforschung an der Universität Hannover. Korrespondierendes Mitglied in der Klasse für Ingenieurwissenschaften seit 1969 (vorher: Klasse für Bauwissenschaften), im Alter von 101 Jahren
- 21.03.2002 Kurt **Leschonski**, Dr.-Ing. Dr.-Ing.E.h., Prof.em. für Mechanische Verfahrenstechnik an der Technischen Universität Clausthal. Ordentliches Mitglied in der Klasse für Ingenieurwissenschaften seit 1985, im Alter von 71 Jahren

Es wäre sicherlich mehr als angemessen, die Leistungen der Verstorbenen vertiefend zu würdigen. Aber eine einzelne Persönlichkeit herauszugreifen wäre ungerecht, denn weder das Fach noch das Alter oder die berufliche Funktion des Verstorbenen wären ein vertretbares Auswahlkriterium. Ein jeder hat in seiner ganz persönlichen Weise seine Wissenschaft geprägt und damit auch unserer Wissenschaftlichen Gesellschaft seinen anteiligen Stempel aufgedrückt. Dafür zu danken ist uns ein besonderes Anliegen – und wir werden den Verstorbenen ein ehrendes Andenken bewahren.

Sie haben sich zu Ehren der Verstorbenen erhoben – ich danke Ihnen.

Zuwahlen und personeller Stand der BWG

Weniger mit Blick auf die enge fachliche Zuordnung, vielmehr unter vorrangiger Würdigung der persönlichen wissenschaftlichen Qualifikation nutzen wir das Privileg der selbstbestimmten Zuwahl neuer Mitglieder und damit auch die Chance, aktuelle Themenfelder für unsere interdisziplinäre Arbeit zu erschließen: Diese Wahlen führten im Berichtsjahr 2001/2002 zu folgenden Ergebnissen:

Die **Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften** wählte zu ordentlichen Mitgliedern:

am 19.04.2002:

- Herrn Prof. Dr.rer.nat. Dr.agr.habil. Dr.h.c. Müfit **Bahadir**, Ökologische Chemie und Abfallanalytik, TU Braunschweig
- Herrn Prof. Dr.rer.nat. Wolfgang **Ertmer**, Experimentalphysik, Universität Hannover
- Herrn Prof. Dr.oec.publ. Ludwig **Schätzl**, Wirtschaftsgeographie, Präsident, Universität Hannover

Die **Klasse für Ingenieurwissenschaften** wählte zu ordentlichen Mitgliedern:

am 14.12.2001:

- Herrn Prof. Dr.-Ing. Rolf **Ernst**, Datentechnik und Kommunikationsnetze, TU Braunschweig
- Herrn Prof. Dr.-Ing. Christian **Heipke**, Photogrammetrie und Fernerkundung, Universität Hannover
- Herrn Prof. Dr.-Ing. Eckehard **Schnieder**, Regelungs- und Automatisierungstechnik, TU Braunschweig

sowie zum korrespondierenden Mitglied:

am 19.04.2002:

- Herrn Prof. Dr.-Ing. Edwin **Kreuzer**, Mechanik und Meerestechnik, Technische Universität Hamburg

Die **Klasse für Geisteswissenschaften** wählte zu ordentlichen Mitgliedern:

am 14.12.2001:

- Herrn Prof. Dr.rer.pol.habil. Dr.h.c. Joachim **Hentze**, Betriebswirtschaftslehre: Unternehmensführung, TU Braunschweig

am 19.04.2002:

- Frau Prof. Dr.phil.habil. Renate **Stauf**, Neuere Deutsche Literatur, TU Braunschweig

Damit gehören der BWG am 31.5.2002 insgesamt 137 ordentliche und 73 korrespondierende Mitglieder an.

Davon:

Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften:	46 ordentl. und 18 korresp. Mitglieder
Klasse für Ingenieurwissenschaften:	57 ordentl. und 26 korresp. Mitglieder
Klasse für Geisteswissenschaften:	34 ordentl. und 29 korresp. Mitglieder

Wahl des Präsidenten und eines Klassenvorsitzenden

Unter der Rubrik Wahlen ist weiterhin zu berichten,

dass die Plenarversammlung am 14.12.2001 den zu Ihnen sprechenden Präsidenten für eine dreijährige Amtszeit 2002 – 2004 in seinem Amt bestätigt hat.

Für diesen Vertrauensbeweis danke ich dem Wahlkollegium sehr herzlich.

Herr Hans-Joachim **Behr** wurde durch Wiederwahl am 14.12.2002 ebenfalls bis zum Jahre 2004 das Amt des Klassenvorsitzenden der Geisteswissenschaften erneut übertragen.

Vorträge in den Plenarversammlungen

Zentrales Element der internen wissenschaftlichen Arbeit sind Vorträge und Diskussionen, bei denen sowohl in der Wahl der Vortragsthemen als auch dann in der weiterführenden Diskussion der interdisziplinäre Diskurs ein herausragendes Element ist. Die dabei überraschend erkennbaren Querbezüge und Einsichten führen zu neuen Ansätzen und neuen Vernetzungen in der Forschung.

Die Themen und Inhalte der neun Plenarvorträge sowie der sechzehn Klassenvorträge sind im Jahrbuch 2001, das nunmehr pünktlich zu unserer Jahresversammlung vorliegt, wiedergegeben.

Eine neue, experimentelle Form des interdisziplinären Diskurses stellen die in unregelmäßiger Folge veranstalteten sog. Diskussions-Foren dar. Kurze Impulsreferate mit verschiedenen fachlichen Blickwinkeln führen in die Thematik ein, die in einer ausführlichen, ergebnisoffenen Diskussion vertieft wird. Das Thema „Fortschritt – ein alter Begriff mit neuen Inhalten“ sei dafür als Beispiel genannt.

Veranstaltungen

Kolloquien, Symposien und andere Vortragsveranstaltungen sind das geeignete Mittel, um die wissenschaftlichen Potenziale der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft in ihrer Außenwirkung zu entfalten.

Als Veranstaltung unter eigener Regie ist das 4. Kolloquium der Kommission „Recht und Technik“ zu nennen, das dem Thema

„Kraft-Wärme-Kopplung als Beitrag zu Klimaschutz und Energieeinsparung“

gewidmet war und im September 2001 in Hannover veranstaltet wurde. Begleitend zum aktuellen Gesetzgebungsverfahren im Bundestag haben Klimaforscher sowie Ingenieur- und Rechtswissenschaftler die Chancen und Grenzen dieses Konzepts erörtert und damit zur Politikberatung beigetragen.

Einen weiteren Aktionsrahmen bieten Veranstaltungen, die gemeinsam mit anderen Institutionen durchgeführt werden und in denen seitens der BWG als Mitveranstalter spezifischer Sachverstand zum Tragen kommt. Beispiele hierfür sind bzw. waren

- das gemeinsam mit der TU und dem Landesmuseum veranstaltete Troja-Symposium
- die Veranstaltung zur Verleihung des „Braunschweiger Bürgerpreises“, gemeinsam mit der Stiftung Braunschweiger Bürgerpreis und der TU
- die Ausstellung „Vom Taler zur Mark“ – Geschichte des Geldes seit 1500 gemeinsam mit dem Niedersächsischen Münzkabinett Hannover und der FH Braunschweig/Wolfenbüttel in Wolfsburg.

Publikationen

Nachprüfbare Dokumente unserer wissenschaftlichen Arbeit sind und bleiben die gedruckten Publikationen, zu denen regelmäßig unsere Jahrbücher sowie die „Abhandlungen“ als wissenschaftliches Publikationsorgan zählen.

Pünktlich zu dieser heutigen Jahresversammlung können wir das Jahrbuch 2001 druckfrisch präsentieren.

Von den Abhandlungen sind inzwischen zwei weitere Bände erschienen.

Ein besonderes Gewicht hat der Band Nr. 50, der im Dezember 2001 erschienen ist und neben Original-Publikationen ein vollständiges Inhaltsverzeichnis der Bände 1 bis 49 enthält und somit einen Abschnitt der Wissenschafts-Geschichte der BWG zusammenfassend dokumentiert.

Band 51 liegt seit Anfang Juni vor.

Zum Erfolg dieser Unternehmungen haben seitens der BWG unserer Generalsekretär Herr Scheier, und seitens des Cramer Verlages Frau Jäcker entscheidend beigetragen. Dafür danke ich herzlich.

Als Sonderdruck befindet sich der Band mit den Vorträgen des o. g. Kolloquiums ‚Recht und Technik‘ im Druck, hierzu danke ich Herrn Salje für die wissenschaftliche redaktionelle Betreuung.

Wissenschaft war schon immer und ist heute in deutlich verstärktem Maße ein dynamischer Prozess. Im Wettbewerb der Köpfe, der Institutionen, der Nationen gilt es vorn zu sein, und da ist Schnelligkeit angesagt. Dies geht teilweise so schnell, dass es nicht nur vereinzelte Stimmen gibt, die zu einer Entschleunigung raten, damit die Lücke zwischen dem, was die Wissenschaft hervorbringt, und dem, was von der Gesellschaft wahrgenommen oder verstanden werden kann, nicht noch größer wird. Auf diesen interessanten Aspekt des Akzeptanzproblems möchte ich aber hier nicht weiter eingehen.

Auf der Basis der Entwicklungen in Wissenschaft und Technik und der damit einhergehenden positiven Effekte für die Lebensqualität der Menschen wurde Ende des 18. Jahrhunderts der Begriff Fortschritt geboren, der im Lichte vieler unverkennbarer Erfolge im 19. Jahrhundert seine Blütezeit als Ausdruck einer stets positiven Korrelation zwischen wissenschaftlicher Erkenntnis und Segnungen für die Menschen erlebte. Die Wortschöpfung „Fortschritts Glaube“ gibt in ihrer mythischen Ausrichtung die Stimmungslage einer Zeitepoche treffend wieder.

Im 20. Jahrhundert wandelte sich das Bild, denn in zunehmendem Maße mussten die Menschen erfahren, dass mit den Entwicklungen der Technik auch negative Effekte, teilweise in dramatischer Dimension, einhergehen konnten. Fortschritts Glaube wandelte sich so in Fortschrittsskepsis bis hin zur Ablehnung: Der Widerstand gegen die Wissenschaft und ihre Anwendungen gehört heute zum täglichen Leben – auch dies teilweise in mythischer Verklärung.

In diesem Wechselbad der Empfindungen zum Problembereich Fortschritt ist es wohl schwierig, einen rationalen Pfad zu finden, aber es ist dringend erforderlich, dass wir versuchen, Orientierungspunkte festzumachen, die bei einer zukunftsbezogenen Positionierung und Entwicklung hilfreich sind. Hierzu muss die Wissenschaft – oder präziser – eine Wissenschaftliche Gesellschaft ihren Beitrag leisten. Dies genau ist die generelle Zielsetzung, mit der auch unsere Kommission „Recht und Technik“ wesentliche Beiträge zu Information und Kommunikation in grundsätzlichen und aktuellen Fragen zur Einordnung technischer Entwicklungen in die Lebenswelt leistet.

Grundsätzlich ist es meines Erachtens nicht damit getan, dass wir dem Problem des Spannungsverhältnisses von neuer wissenschaftlicher Erkenntnis einerseits und Aufnahmembereitschaft der Gesellschaft andererseits dadurch begegnen, dass wir den Begriff Fortschritt aus unserem Sprachschatz verbannen. Wie jeder Begriff ist auch dieser Begriff in seiner Bewertung und Bedeutung einem zeitgeschichtlichen Wandel unterworfen. Wenn deutlich wird, dass er nicht zur ideologischen Keule zur Durchsetzung einseitiger Interessen einer Seite missbraucht wird, lässt sich mit dem Wort Fortschritt im richtigen Kontext gut argumentieren. Fortschritt in diesem Sinne ist dann Ansichtssache, und so wie wir in einer pluralistischen Gesellschaft viele Ansichten zu einer Sache in Koexistenz akzeptieren, können wir es auch mit dem Begriff Fortschritt halten.

Die Diskussion über Fortschritt „ja oder nein“ erscheint ja geradezu grotesk angesichts der Probleme, denen sich die Menschen in aller Welt in wachsendem Maße gegenübersehen: Dies sind

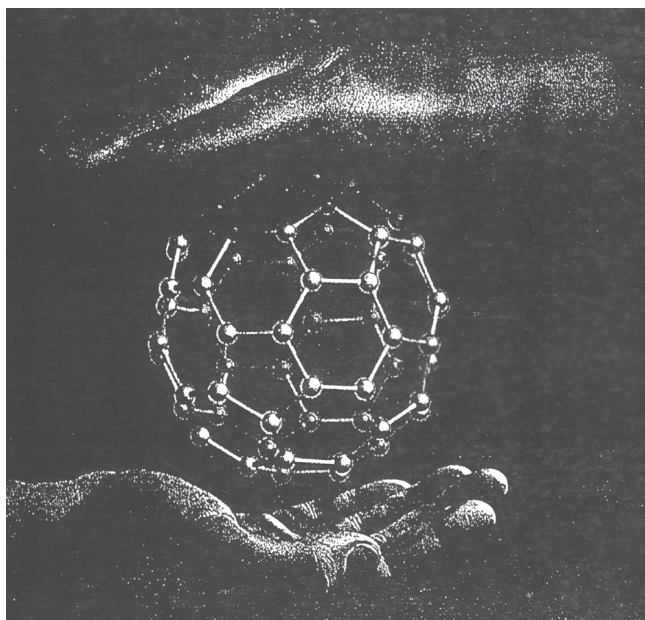
- Fragen der Ernährungssicherung – bei einer anstehenden Verdoppelung der Weltbevölkerung in 20 Jahren.
- Fragen der Gesundheitsversorgung – nicht nur in der High-Tech Medizin, sondern z. B. in der Versorgung breiter Bevölkerungsguppen mit Impfstoffen gegen epidemische Erkrankungen.
- Fragen der Ressourcen-Sicherung mit Blick auf Energie oder Wasser als Lebensquelle.
- Fragen der soziologisch-ökonomischen Forschung, z. B. zum Thema Zukunft der Arbeitswelt – Arbeit für alle?

Zur Lösung dieser Probleme ist Fortschritt der Erkenntnis zwingend gefordert. Dabei gibt es keine eindimensionalen Lösungen, die Forschung muss mit interdisziplinären Ansätzen und Konzepten der Vielschichtigkeit der Probleme, d. h. Wirkungen, Nebenwirkungen, Rückwirkungen, gerecht werden. Zur Entwicklung und zum Erschließen derartiger Potenziale sind gerade auch die Akademien aufgrund ihrer breiten und offenen wissenschaftlichen Struktur prädestiniert.

Die Wissenschaft ist gefordert, aber man muss sie auch entsprechend fördern.

Man muss sie dazu (in den gebotenen Grenzen) in Freiheit, d. h. ohne Planwirtschaft und ohne unmittelbaren Verwertungszwang, ihren eigenen Weg suchen und finden lassen. Das war und ist noch immer der beste Richtungsweiser zum Erfolg.

Über eine derartige Erfolgsgeschichte können auch diejenigen berichten, denen wir die Entdeckung der Fullerene zu verdanken haben. Zu diesen Pionieren gehört Wolfgang Krätschmer, dem wir heute für diese bahnbrechende Leistung die Gaußmedaille des Jahres 2002 überreichen dürfen. Wenn Sie nicht schon am heutigen Vormittag durch Teilnahme an unserem Kolloquium einen Einblick in die faszinierende Welt der Fullerene – nach Graphit und Diamant einer dritten Modifikation des Kohlenstoffs – gewonnen haben, so werden Sie in der Laudatio und in dem Festvortrag dazu noch so viel Spannendes erfahren, dass ich hier auf fachliche Ausführungen jeglicher Art verzichten kann (so schwer mir dies als Chemiker auch fallen mag!). Nur einen kurzen Vorab-Blick auf dieses ästhetisch brillante Molekül möchte ich Ihnen nicht vorenthalten.



Entscheidend ist wieder einmal, dass es des offenen, unvoreingenommenen Blicks in die uns umgebende Welt bedarf, um Bausteine dieser Welt zu erkennen und zu verstehen, dass dann aber von diesem hohen Gut der Erkenntnis so viele Impulse ausgehen und Türen in Entwicklungsräume geöffnet werden, an die vor 10 bis 20 Jahren noch niemand denken konnte.

Zum Fortschritt der Wissenschaft beizutragen und Entwicklungsräume zu erschließen, das war auch dem Namenspatron unserer Medaille – Carl Friedrich Gauß – vergönnt, und auf mehreren Gebieten der Mathematik, der Physik, der Geodäsie haben seine Erkenntnisse und Arbeiten ihre Leuchtkraft erhalten. Seiner überragenden Bedeutung als wissenschaftlicher „Nationalheld“ entsprechend war C. F. Gauß über 50 Jahre unser ständiger Begleiter, wenn es um das gute Geld, die D-Mark, ging.



Mit dem Abschied von der D-Mark und dem Wechsel zum Euro war auch der Abschied vom 10-Mark-Schein verbunden. Damit geht ein Stück Braunschweiger und Göttinger Geistes- und Wissenschaftsgeschichte im Blickfeld der Öffentlichkeit verloren. Sie ist mit dem Namen C.F. Gauß untrennbar verbunden, der im Jahre 1777 (30. April) in Braunschweig das Licht der Welt erblickte und im Jahre 1855 in Göttingen verstarb. Aus Braunschweiger Sicht kann man zu recht sagen:

„In dieser Stadt wurde nie ein Klügerer geboren.“

Zwei Berge auf unserem Globus sind dem Gedenken dieses Geistes-Riesen gewidmet. Der Höhe nach geordnet ist

- Nr. 1 eine Basalt-Kuppe von 317 m Höhe auf der Kaiser-Wilhelm-Insel in der östlichen Antarktis
und
- Nr. 2 natürlich der Gaußberg in Braunschweig. 1880 von Oberbürgermeister Pockels eingeweiht, steht dort das Denkmal, das wir alle wohl kennen. Pockels sagte-

damals: „Kraft Auftrages der Städtischen Behörden Braunschweigs habe ich die Ehre, dieses Denkmal hiermit für alle Zeiten in Obhut und Pflege der Stadt zu nehmen – ewiglich“. Im Vollzug dieses Auftrags hat – nachdem der Gaußberg ja durchaus verkehrstechnisch verplant war – die Stadt im Jahre 2000 eine neue verschönerte Grünanlage geschaffen – der Weg zum Gaußberg lohnt sich!

Betrachten wir Abschied nehmend den Schein noch einmal genauer, so sehen wir auf der einen Seite vorrangig das Porträt, das A. Jansen 1840, also von dem ca. 60jährigen Gauß geschaffen hat – ein kluger, ernsthafter, wohl auch gütiger Mensch schaut uns an. Persönliches Glück und Leid, aber auch wissenschaftlicher Erfolg haben dieses Antlitz geprägt.

Der Geldschein erlaubt aber auch einen Blick in die wissenschaftliche Werkstatt: Neben dem Porträt ist die berühmte Gaußsche Glockenkurve, welche die so genannte Dichteverteilung einer normalverteilten Zufallsgröße wiedergibt, zu erkennen.



Die andere Seite des Geldscheins ist den Beiträgen zur Geodäsie, der Vermessungskunde gewidmet. Deutlich hervorgehoben ist das von Gauß entwickelte Heliotrop, das er bei seinen Landvermessungen einsetzte: Im Königreich Hannover wurden 2500 trigonometrische Punkte in 25 Jahren bestimmt – der Bereich ist – vielleicht weniger gut erkennbar – am Rande abgebildet.

Wissenschaft und Geld waren auf dem 10-Mark-Schein in schöner Symbiose vereint, die Geld-Museen der Zukunft werden dieses Zeugnis bewahren.

Mit oder ohne Geldschein ist Carl Friedrich Gauß für uns in seiner zeitlosen Ausstrahlung Vorbild und Ansporn zugleich für wissenschaftlich herausragende Leistungen, und in diesem Sinne sind wir stolz, dass wir nach 53 Jahren auch weiterhin die mit seinem Namen und Antlitz geschmückte Medaille als hohe Auszeichnung vergeben dürfen.

Doch vor diese Zeremonie haben wir in unserem Programm die versprochene Musik gestellt. Dazu begrüße ich mit Ihnen Daniel Keding, Sarah Deborah Reiß, Claudius Boettger-Soller, Julian Lembke und Martin Röhrich.

Ihnen allen danke ich, dass Sie mir zugehört haben.

PROF. DR. PHIL. NAT. JOACHIM HEIDBERG, Hannover

Laudatio
Zur Verleihung der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille
an Prof. Dr. rer. nat. Wolfgang Krätschmer

Nur durch das Morgentor des Schönen
Drangst du in der Erkenntnis Land.
Schiller 1789

Sehr geehrter Herr Präsident,
verehrter, lieber Herr Kollege Krätschmer,
sehr verehrte Frau Krätschmer,
hohe Festversammlung!

Wolfgang Krätschmer und Mitarbeiter veröffentlichten im Jahre 1990 bahnbrechende Beiträge zur Entdeckung der Fullerene, die eine neue Stoffklasse reiner Kohlenstoffe bilden neben den altbekannten kristallinen Formen des Graphits und Diamanten sowie dem bisher nur im Meteoritenkrater des Nördlinger Ries gefundenen Mineral Chaoit. Krätschmer hatte ein Verfahren zur Herstellung der neuen Kohlenstoffe in wägbaren Mengen entdeckt und damit eine weltweite Forschungslawine beispiellosen Ausmaßes losgelöst. Überdies war ihm der erste schlüssige Beweis für die außergewöhnliche Gestalt des Grundkörpers der Klasse, des Buckminsterfullerens C_{60} , gelungen, welcher die Form eines hochsymmetrischen Hohlkörpers besitzt.

Buckminsterfulleren C_{60} hat die Symmetrie eines gekappten Ikosaeders, die nichts anderem als der Gestalt eines Fußballs entspricht. Der gekappte Ikosaeder leitet sich vom Ikosaeder ab, einem regulären Körper, der von 20 äquivalenten, gleichseitigen Dreiecken begrenzt wird und 12 äquivalente Ecken und 30 Kanten besitzt. In einer Ecke treffen sich jeweils 5 Dreiecke. Indem man jede der 12 Ecken zu einem Fünfeck kappt, erhält man einen gekappten Ikosaeder mit 12 gleichseitigen Fünfecken, 20 gleichseitigen Sechsecken und 60 äquivalenten Ecken. Der gekappte Ikosaeder gehört zu den 13 halbbregulären Polyedern, die von zwei oder mehr Arten regulärer Flächen begrenzt werden, und vermutlich erstmals von Archimedes den fünf regulären Polyedern, den platonischen Körpern, zur Seite gestellt wurden. Es ist vielleicht die Symmetrie des gekappten Ikosaeders, welche die starke Anziehung des Buckminsterfullerens C_{60} auf die Forscher ausübt. Der Ikosaeder gehört zu jenen fünf regulären Körpern, die seit Platon als Inbegriff des Schönen, der Harmonie und Vollkommenheit gelten. Die verminderte Regularität der archimedischen Körper, zu denen der gekappte Ikosaeder C_{60} gehört, könnte heutigem ästhetischem Empfinden sogar näher kommen Abb. 1.

Es ist diese neuartige molekulare Architektur, der die Fullerene ihren Namen verdanken. Der amerikanische Architekt Richard Buckminster Fuller konstruierte gigantische, frei tragende Kuppelbauten, geodätische Dome, die aus einem Stabwerk verbundener Streben bestehen und genau auf dem Bauprinzip basieren, das die Natur in den Fullerenen verwirklicht.

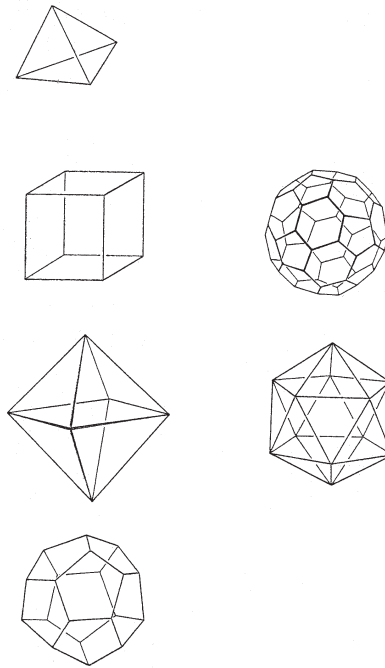


Abb. 1: Die fünf platonischen Körper. Ikosaeder (unten rechts). Gekappter Ikosaeder, ein archimedischer Körper (oben rechts).

Die Entdeckung der Fullerene ist ein leuchtendes Beispiel für die Fruchtbarkeit interdisziplinärer Forschung. Zwei Forschergruppen sind die wesentlich Handelnden, die erste mit dem Physiker Krätchmer und Huffman, die zweite mit den Chemikern Kroto, Smalley und Curl. Beide Forschergruppen waren dabei, die Natur interstellarer Materie aufzuklären allerdings zunächst völlig unabhängig voneinander und auch mit unterschiedlichen Zielrichtungen. Keiner dachte an vielatomige Hohlkörper. Entsprechend verwinkelt war der Weg zu den Fullerenen. Aus meiner Sicht verläuft deren Entdeckung in drei Akten.

Erster Akt. Interstellarer Staub

Es begann 1977. Wolfgang Krätchmer forschte bei dem Festkörperphysiker Donald Huffman in Tuscon, Arizona, der den interstellaren Raum als ideales Labor nutzte, um Experimente an isolierten kleinen Teilchen, den Körnchen des interstellaren Staubs, auszuführen [1]. Wer den wunderbaren Sternenhimmel über der klaren Luft der Wüste einmal erlebt hat, wird sicher zustimmen, daß diese Umgebung der richtige Ort für solche Studien ist.

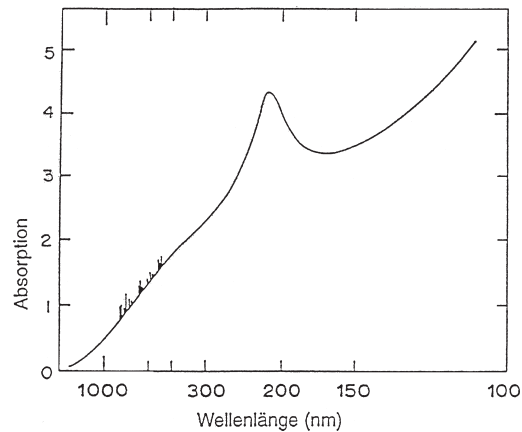


Abb. 2: Die 220nm Licht-Absorption des interstellaren Mediums, wahrscheinlich verursacht durch nanoskopische Kohlenstoff-Teilchen. Der Anstieg vom Langwelligen (Roten) zum Kurzwelligen (Ultraviolett) wird durch Streuung des Lichts an diesen Staubteilchen verursacht. Die Ursache der Spektrallinien zwischen 400 und 800nm ist nicht bekannt. Als Schichtdicke werden 3300 Lichtjahre angesetzt. [1]

1982 kam Huffman zu einem Forschungsaufenthalt zu Krätschmer in das Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg, um die Studien fortzusetzen. Besonders angetan waren die beiden von dem sog. 220 nm Merkmal, der intensivsten interstellaren spektralen Absorption im ultra-violetten Spektralbereich, die, so vermutete man, durch kleine Teilchen aus Kohlenstoff verursacht wird. Abb. 2. Im Bereich des sichtbaren Lichts erkennt man viele schärfere, schwache Absorptionen, die sog. „diffusen interstellaren Absorptionen“, deren Ursprung noch unbekannt ist [2].

Der Weltraum ist zwar ein Super-Ultrahochvakuum, aber eben nicht absolut leer. Er enthält hoch verdünnte Gase, vornehmlich Wasserstoff und Helium, und Stäube. Eines der „staubigen“ Objekte ist der sogenannte Pferdekopfnebel im Sternbild Orion. Die interstellare Staubwolke schwächt das Licht dahinter liegender Sterne, wobei das Licht nicht bei allen Wellenlängen gleichmäßig geschwächt wird, sondern das blaue Licht der Sterne stärker gestreut wird als das rote. Die Sterne hinter der Staubwolke erscheinen gerötet. Diese Rötung stammt von den interstellaren Staubteilchen, Teilchen mit Durchmessern von $0.1 \mu\text{m}$ also $1/10\,000$ eines Millimeters und kleiner. Abb. 3.

Um verlässliche Aussagen über die Farbeigenschaften dieser Nanometer-großen Teilchen zu gewinnen, ist man auf Versuche im Labor angewiesen, wo solche kleine Teilchen erzeugt und spektroskopiert werden können.

Zur Erzeugung der kleinen Kohlenstoffteilchen bediente sich Krätschmer der bewährten Methode, Kohlenstoff in einer Edelgasatmosphäre zu verdampfen. Das Gerät besteht aus einer Grundplatte mit elektrischen Durchführungen für zwei Graphit-Elektroden, über die eine Glasglocke gestülpt wird. Ein starker elektrischer Strom, der durch die beiden sich



Abb. 3: „Pferdekopfnebel“ im Sternbild Orion. Die interstellare Staubwolke mit dem pferdekopfförmigen Filament, die in ein staubfreies Gebiet hineinreicht, schwächt das Licht der dahinter liegenden Sterne im Blauen stärker als im Roten. Die abgedunkelten Sterne erscheinen gerötet. Der Lichtfleck (links unten) wird durch Licht eines hellen Sterns erzeugt, das von den Staubteilchen der Wolke zurückgestreut wird. [1]

berührenden Stäbe aus Graphit geschickt wird, verdampft den Kohlenstoff. Die Graphitstäbe erwärmen sich im elektrischen Strom auf Temperaturen zwischen 2500 und 3000°C. Das Gerät steht heute im Deutschen Museum in Bonn, warum werden wir noch erfahren.

Führt man die Kohlenstoffverdampfung im Vakuum aus, so erhält man auf dem Auffänger einen Rußfilm. Füllt man hingegen die Glasglocke mit einem Edelgas, z.B. Helium, so kann man sehr schön mit bloßem Auge in der Nähe der hell glühenden Graphitstäbe eine Wolke erkennen. Im Streulicht erscheint die Wolke blau. Die Wolke treibt durch das Innere der Glasglocke. Als Rußschicht setzt sie sich an den Wänden der Glasglocke und dem Auffänger ab und kann untersucht, insbesondere spektroskopiert und mikroskopiert werden. Elektronenmikroskopische Aufnahmen der Rußproben zeigen lockere Aggregate

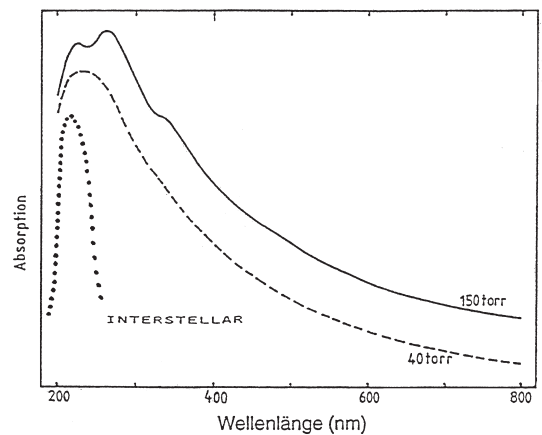


Abb. 4: Spektrum der im Labor erzeugten Rußteilchen im ultravioletten und sichtbarem Spektralbereich mit drei bei höheren Heliumdrücken auftretenden „Kamelhöckern“ zwischen 220 und 340nm. [1]

runder etwa 10 nm großer Teilchen. Die Ultraviolett-Spektren hatten gewöhnlich ein einziges Maximum bei 230 nm Wellenlänge. Die Spektralbande war mithin verschoben und überdies viel breiter als die interstellare Absorption bei 220 nm. Abb. 4.

Die Experimente in den Jahren 1982 und 1983 waren also enttäuschend ausgefallen. Zu dieser Enttäuschung gesellte sich noch eine Merkwürdigkeit: Gelegentlich überlagerten sich der breiten Absorption drei kleine schmale Peaks, die „Kamelhöcker“. Krätschmer und Huffman konnten diese nicht erklären, damals 1983. Aber die „Kamelhöcker“ ließen sie nicht los.

Zweiter Akt. Buckminster - Fulleren C_{60}

Kurzer Vorspann

J. Heidberg und Mitarbeiter hatten in Hannover um 1981 und davor in Erlangen die resonante laser-induzierte Desorption gefunden [3]. Darüber trug Heidberg in April 1984 in der Israelischen Akademie zu Jerusalem auf dem Symposium „Dynamics on Surfaces“ vor. In der Diskussion regte Mordechai Folman vom Technion an, Kohlenstoff-Cluster C_n durch laser-induzierte Desorption an Graphit in Helium herzustellen. „Wichtig ist, den Heliumgasdruck zu variieren, um größere, stabile Cluster zu finden, wenn solche überhaupt existieren sollten“, betonte Folman [4]. Die Experimente wurden aufgenommen, leider reichte das verfügbare Massenspektrometer nur bis zur Masse 200 amu. Soweit der Vorspann.

Im Juli 1984 stellten Rohlffing, Cox und Caldor durch laser-induzierte Desorption erzeugte, völlig neue, geradzahlige Kohlenstoff-Cluster C_n mit 40 und mehr Kohlenstoff-

atomen, einschließlich C_{60} , vor [5]. Nicht berichtet wurde jedoch über die Variation des Heliumdrucks zur Anreicherung und damit zum Nachweis besonders stabiler Cluster.

Im November 1985 teilten Kroto, Curl und Smalley, Rice University in Texas, die Entdeckung von stabilem C_{60} durch laser-induzierte Desorption an Graphit bei unterschiedlichen Helium-drucken mittels eines Flugzeitmassenspektrometers mit. Daneben beobachteten sie geringe Mengen C_{70} . Abb. 5. Sie postulierten für C_{60} die Hohlform eines gekappten Ikosaeders, welche eine ganz neuartige Struktur darstellte und die Grundform für eine neue Stoffklasse bilden sollte. Abb. 6. [6].

Harold W. Kroto, der in Brighton an der Universität von Sussex in England über lange Kohlenstoffketten, sog. Polyine, arbeitete, war im Sommer 1985 nach Texas geflogen, um zu versuchen, jene Chemie aufzuklären, die in der Atmosphäre von Kohlenstoffsternen mit dem schönen Namen „Rote Riesen“, abläuft.

Die überaus kühne Idee des Teams um Kroto und Smalley lag darin, aus den recht mageren Meßergebnissen den Strukturvorschlag eines drei-dimensionalen, fußballförmigen Moleküls, eines Käfigmoleküls, zu entwickeln. Ihnen war damals nicht bewußt, daß schon Vordenker, wie der Brite David Jones unter dem Pseudonym Daedalus [7], die Japaner Osawa und Yoshida [8], die Russen D. Bochvar und E. Gal'pern [9] über hohle

NATURE VOL. 318 14 NOVEMBER 1985

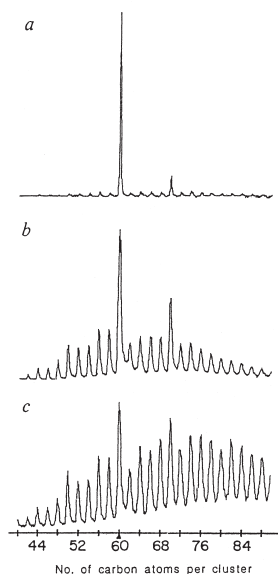


Abb. 5: Flugzeit-Massenspektren von Kohlenstoff-Clustern präpariert durch laser-induzierte Desorption an Graphit in Helium unterschiedlichen Drucks. (c) weniger als 10 torr. (b) etwa 760 torr. (a) etwa 760 torr nach Thermalisierung und Cluster-Cluster-Reaktionen. Anreicherung von C_{60} und Nachweis von dessen besonderer Stabilität. Daneben geringe Menge C_{70} .

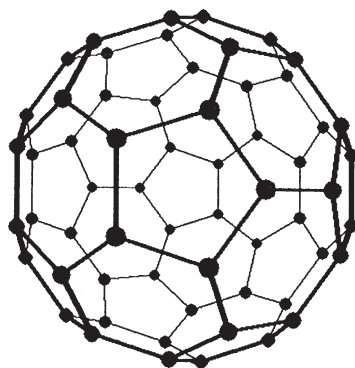


Abb. 6: Molekularstruktur von C_{60} . Perspektivische Darstellung. Auf jeder der 60 äquivalenten Ecken des gekappten Ikosaeders, der 12 Fünf- und 20 Sechsecke als begrenzende Flächen hat, sitzt ein Kohlenstoffatom.

Kohlenstoffkäfige nachgedacht hatten, die sie jetzt neu erfinden sollten. Orville Chapman von der University of California in Los Angeles versuchte seit 1981 sogar die Synthese von C_{60} , die er trotz hartnäckiger Versuche nicht schaffte, und die auch heute noch als eine der großen Herausforderungen der präparativen Organischen Chemie gilt.

Als es darum ging, dem frisch entdeckten Kohlenstoff C_{60} einen Namen zu geben, fiel Kroto der Name Buckminsterfulleren „aus heiterem Himmel“ ein, wie er sagt, worüber seine Kollegen zuerst alles andere als begeistert waren. Kroto kannte Entwürfe von Buckminster Fuller und bewunderte diese. Auch hatte er lebhaftere Erinnerungen an dessen geodätische Kuppel auf der Weltausstellung 1967 in Montreal, die er hoch hinauf bis an das filigrane Netzwerk der Stäbe bestiegen hatte. [10] Abb. 7. Später wurde eine ganze Familie mehr oder weniger geschlossener Kohlenstoffkäfige gefunden, welche heute die Stoffklasse der Fullerene bilden.

Vielleicht hat dieser anfangs doch recht kontroverse Name mit der Schönheit der Form des Moleküls dafür gesorgt, daß sich Laien nicht nur für dieses Molekül sondern für Chemie überhaupt zu interessieren begannen. [11]

Für eine direkte Bestimmung der Struktur von C_{60} etwa durch Spektroskopie oder Röntgenbeugung reichten damals aber die durch laser-induzierte Desorption erhaltenen Mengen bei weitem nicht aus. Man brauchte mehr Substanz als „nur einen Hauch in einem überschallschnellen Heliumwind, der nur von einem ultraempfindlichen Sensor, dem Massenspektrometer, nachgewiesen werden kann“, wie Kroto anmerkte.

Immerhin gelang es bald, noch 1985, ein Lanthan-Atom mit C_{60} zu verbinden, das heißt wahrscheinlich im Innern des hohlen C_{60} -Käfigs einzuschließen, und den stabilen Komplex massenspektroskopisch nachzuweisen. [12]

Doch ein schlüssiger Beweis für die Gestalt von C_{60} fehlte immer noch. Lockte der ästhetische Sinn auf die falsche Fährte?

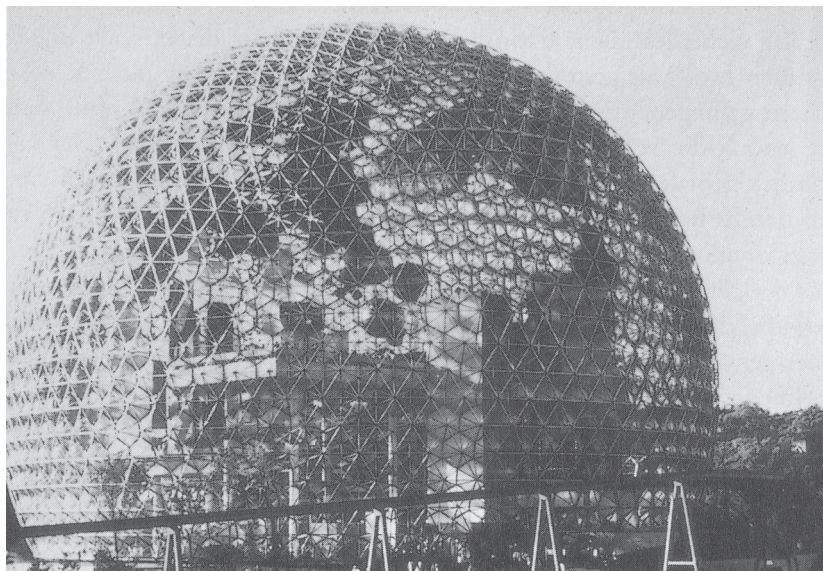


Abb. 7: Buckminster-Fuller-Kuppel auf der Weltausstellung 1967 in Montreal [1].

Kroto schreibt, daß er geradezu besessen war von der Suche nach einem schlüssigen Beweis. Er hatte nur noch den einen Traum, das Rätsel um die Struktur von C_{60} durch Kernresonanz zu lösen. Es kam anders.

Dritter Akt

Die Einschnitt-Synthese von C_{60} und erster schlüssiger Strukturbeweis

Krätschmer und Huffman schleppten den Gedanken an die „Kamelhöcker“ auf den Ultraviolettpektren der Rußteilchen nun schon vier Jahre mit sich herum. Im Herbst 1987 wurde Krätschmer mit der Vermutung Huffman's überrascht daß er, Huffman, C_{60} für den Träger der mysteriösen Kamelhöcker auf den Spektren halte. Mehr noch, er hatte die Herstellung von C_{60} nach Krätschmer und Huffman zum Patent angemeldet, und überredete Krätschmer, den Kamelhöckerruß erneut zu produzieren.

Krätschmer willigte ein und faßte den entscheidenden Gedanken, nicht nur die Ultraviolettpektren zu messen, sondern auch in den infraroten Spektralbereich mit einem höchst empfindlichen Instrument vorzudringen. Im Infraroten kann man die Schwingungen der Atome in einem Molekül studieren. Das Infrarotspektrum eines Moleküls bzw. einer Substanz ist charakteristisch wie ein Fingerabdruck. Aber, es gibt vorerst einen schwer wiegenden Nachteil. Fulleren hat 60 Atome, und damit hat das Molekül 174 Eigenschwingungen, ($3N-6$, N =Atomzahl) und das Schwingungsspektrum erscheint zunächst hoffnungslos kompliziert. Hier greift die Symmetrie. Das gekappte Ikosaeder und

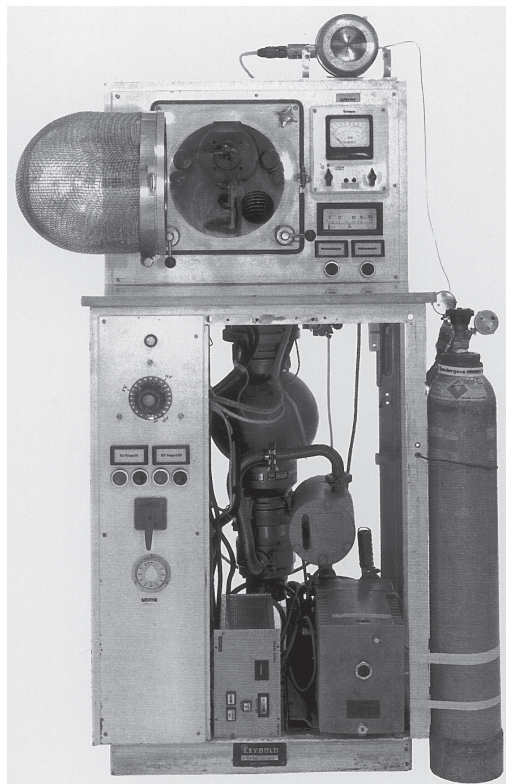


Abb. 8: Aufdampfanlage mit der Buckminster-Fulleren erstmals in wägbaren Mengen präpariert worden ist. Die Originalanlage ist im Deutschen Museum in Bonn ausgestellt. (Foto: Deutsches Museum).

das reguläre Ikosaeder weisen die höchste Symmetrie I_h auf, die es im drei-dimensionalen euklidischen Raum gibt. Die postulierte hohe Symmetrie von C_{60} sollte eine ganz deutliche, drastische Vereinfachung des Schwingungsspektrums bewirken. Für das gekappte Ikosaeder, das Fußballmolekül, der Symmetrie I_h gibt es genau vier und nur vier infrarotaktive Eigenschwingungen, die jeweils dreifach entartet sind.

So startete Krätschmer im Herbst 1988 erneut in der alten Aufdampfanlage die Herstellung von Ruß, wobei diesmal die Heliumdrucke systematisch variiert wurden, und entscheidend war eine kleine Erhöhung des Heliumdrucks beim Verdampfen des Graphits auf 100 - 200 mbar, –hier fällt mir wieder Prof. Folman's Hinweis ein. Abb. 8. Zur freudigen Überraschung von Krätschmer fanden sich im Hochdruck-Ruß (bei ca. 100 mbar He) vier recht scharfe Linien im Infrarotabsorptionsspektrum und zwar nahe der vorhergesagten

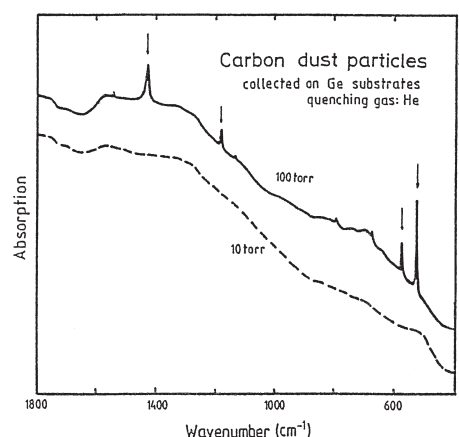


Abb. 9: Das erste Infrarotspektrum von C_{60} . Der Ruß wurde in der Aufdampfanlage (Abb.8) bei Heliumdrucken von 10 torr und 100 torr hergestellt. Das Kontinuum stammt von graphitischem Ruß, die vier schmalen Spektrallinien von C_{60} . [13]

Frequenzen. Abb. 9. [13] Auch die Kamelhöcker im Ultraviolettpektrum wurden diesmal reproduzierbar und nicht, wie damals, sporadisch beobachtet. C_{60} konnte zusammen mit ca. 10% C_{70} , das miterzeugt worden war, nach einem Hinweis des Chemikers Werner Schmidt, mit Toluol bzw. Benzol aus dem Ruß extrahiert und rein kristallisiert werden. Abb. 10. Die Lösung von C_{60} in Toluol ist schön violett.

Der Durchbruch war gelungen. Rückblickend schreibt Krätschmer 1999 in „Horizonte, wie weit reicht unsere Erkenntnis heute“: „Uns war klar, daß wir dabei waren, eine sensationell simple Methode zur Massenproduktion von C_{60} zu finden.“ [14] Hinzufügen möchte ich, daß auch der erste schlüssige Strukturbeweis für den archimedischen gekappt ikosaedrischen Hohlkörper erbracht worden war. Schließlich gelang es Kroto, die lange gesuchte Äquivalenz der Kohlenstoffatome durch das ^{13}C Kernresonanzspektrum, in dem nur eine einzige Resonanz auftritt, nachzuweisen. [15]

Krätschmer und Mitarbeiter berichteten 1990 in der Zeitschrift „Nature“ über die C_{60} Synthese und die Strukturuntersuchungen. [16, 17] In der Folgezeit wuchsen die Forschungsaktivitäten über Fullereene lawinenartig weltweit. Die Zahl der Fulleren Veröffentlichungen stieg von etwa 30 in 1990 auf 500 in 1991 und über 1000 in 1992. Abb. 11. [18]

1991 wählte das angesehene Wissenschaftsmagazin „Science“ C_{60} zum Molekül des Jahres.

Wolfgang Krätschmer wird 1992 mit dem Stern-Gerlach-Preis ausgezeichnet, 1993 mit dem Leibniz-Preis der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Er erhielt den Material Research Society Medal Award und eine Reihe anderer Auszeichnungen, 1997 den Bonner Chemie-Preis.

Kroto, Curl und Smalley erhielten für ihre Beiträge zur Entdeckung der Fullereene 1996 den Nobelpreis für Chemie.

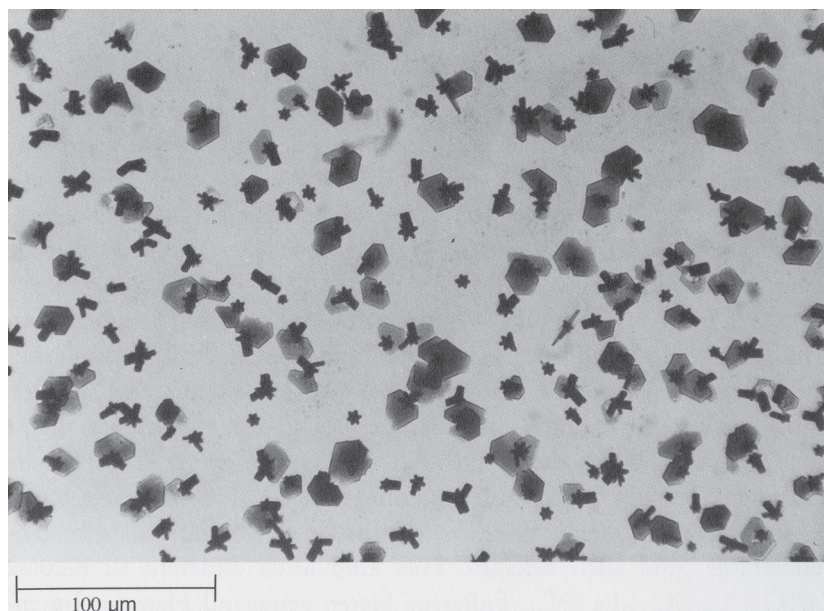


Abb. 10: Die ersten im Durchlicht rötlich braunen, aus einer Benzollösung gezüchteten Kristalle von C_{60} . Die Kristalle enthalten noch 10% miterzeugtes C_{70} und geringe Mengen Benzol. [16]

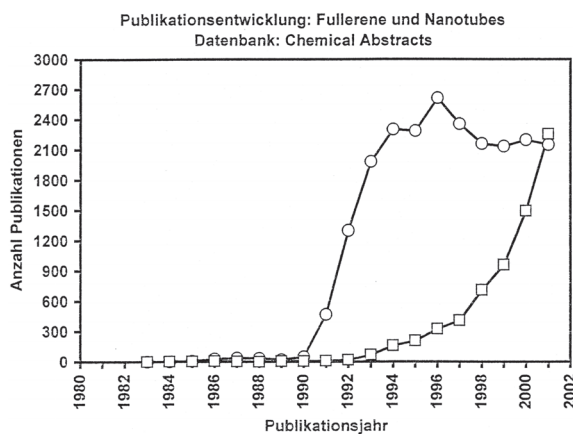


Abb. 11: Entwicklung der Anzahl der Veröffentlichungen über Fullere und Kohlenstoff-Nanoröhren. Im Speicher der Chemical Abstracts Verbindungs-Datenbanken (CAS Registry File) waren am 14. August 2002 insgesamt 20515 Fullere und Derivate registriert. In der Literatur-Datenbank (CAPLUS File) waren 22570 Literaturnachweise zu Fullerenen gespeichert. Dem stehen 7817 Literaturnachweise zu Kohlenstoff-Nanoröhren gegenüber. [18]

Wo stehen wir heute?

Einen Einblick in die aktuelle, weiter sehr intensive Fulleren-Forschung gab uns das Kolloquium „Neue Kohlenstoffe“ mit ausgezeichneten Beiträgen aus der experimentellen Chemie von Martin Jansen, Max-Planck-Institut für Festkörperforschung in Stuttgart, und Andreas Hirsch, Universität Erlangen-Nürnberg, der theoretischen Chemie von Reinhart Ahlrichs, Universität Karlsruhe, und aus der Physik von Siegmur Roth, ebenfalls Max-Planck-Institut für Festkörperforschung in Stuttgart, jeweils mit Ausblicken auf erregende Fortentwicklungen.

Herrn Siegmur Roth verdanken wir aufschlußreiche Bilder und Objekte über elektronischen Transport in Transistoren von Nanometer-Ausdehnung, Aktuatoren, dem Prototyp eines Flachbildschirms u.a., jeweils fabriziert aus Kohlenstoffnanoröhren. Er brachte die Objekte mit und wird diese freundlicherweise selbst zeigen.

Bevor ich zum Schlußwort komme, möchte ich knapp über den heutigen Stand der Fulleren-Synthese berichten. In der angesehenen Zeitschrift „Science“ beschreibt Lawrence T. Scott und Mitarbeiter die Darstellung eines propellerartigen, wahrscheinlich ebenen Moleküls $C_{60}H_{27}Cl_3$ in elf Schritten, das aufgeschlagenem C_{60} ähnelt. – Der Umriß des Moleküls erinnert an die „Dymaxion-Weltkarte“ Buckminster Fullers, in der er die gekrümmte Oberfläche des Globus auf den Kuboktaeder, einen archimedischen Vierzehnflächner, projizierte und so das kartographische Dilemma, sich zwischen Winkel- und Flächentreue zu entscheiden, überwand. – Wie Fullers Faltglobus krümmt sich das Molekül bei der Blitz-Vakuum-Pyrolyse, die im Göttinger Labor von Armin de Meijere ausgeführt wurde, in Bruchteilen einer Sekunde auf 1100°C erhitzt, alle seine Chlor- und Wasserstoffatome verlierend, zum C_{60} -Ball zusammen. Die Gesamtausbeute beträgt nur 1%, so daß diese Synthese das Krätschmer-Verfahren als billige Quelle von Fullerenen nicht ablösen wird, wohl aber den Weg zur systematischen Synthese anderer Fullerene weisen könnte [19].

Epilog

Was lernen wir aus dieser Entdeckungsgeschichte?

In der Wissenschaft sollte man mit Fleiß, Ausdauer, Konsequenz und Phantasie jeglichen Staub- und Rußeffekten nachgehen, um HEUREKA oft nach Jahren der Anstrengungen und Enttäuschungen nicht zu verpassen sondern wirklich zu erleben.

Die Entdeckung der Fullerene war nicht geplant. Die Forschung wurde nicht unter Anwendungsdruck betrieben und war nicht durchdrungen von der Furcht des Scheiterns. Krätschmer und Kroto fanden ihren ursprünglichen Antrieb in der Faszination des interstellaren Mediums. Die Entdeckung der Fullerene ist ein strahlendes Zeugnis für die Stärke der reinen, zweckfreien Grundlagenforschung. Kinder lernen und entdecken die Freuden der Natur beim Spielen am leichtesten und nachhaltigsten.

Erst durch die Anstrengungen einer ganzen Reihe von Forschern aus unterschiedlichen Disziplinen, die aus England, USA, Deutschland und anderen Ländern kamen, gelang die Entdeckung der Fullerene. Wissenschaft ist wie Frieden ein unteilbares Gut, das die Anstrengungen der Menschen verdient und erfordert, und deren Früchte allen Menschen zugute kommen sollen.

Die Entdeckung der Fullerene ist eine der großen Taten der jüngeren Chemie. Es gibt kaum eine andere Entdeckung, die solche Forschungsaktivitäten in den Naturwissenschaften ausgelöst hat. Chemiker haben im wörtlichen Sinn eine neue Dimension für Synthesen in weiten, drei-dimensionalen Hohlräumen gefunden. Physikern eröffnen sich neue Bereiche elektrischer Supraleitung, das heißt nahezu verlustfreier Leitung des elektrischen Stromes in molekularen Supraleitern. Es ist dies ein hoch aktuelles und in starkem Fluß befindliches Gebiet. Die Entdeckung der Fullerene gab der Forschung auch in angewandten Disziplinen außerordentliche Impulse, die zu aussichtsreichen Entwicklungen z.B. in den Materialwissenschaften und der molekularen Medizin geführt haben.

Meine Damen und Herren, einen wesentlichen Zug der geistigen Kraft von Gauß erfassen wir in seiner praktizierten Interdisziplinarität von der Astronomie bis zu Geodäsie.

Lassen Sie mich ein Wort von Norbert Kamp, unserem früheren Präsidenten, abwandeln: Ein Physiker, der selbst Interdisziplinarität in Meisterschaft vorlebt, kann mit guten Gründen und auch guten Gewissens den Namen von Gauß mit der Anerkennung seines eigenen Weges verknüpfen. Ich gratuliere Ihnen, sehr verehrter Herr Kollege Krätschmer!

Danksagung

Prof. Sir Harold W. Kroto, University of Sussex, Falmer, Brighton, und dem Deutschen Museum, Bonn, danke ich für die freundliche Genehmigung, Abbildung 5 bzw. Abbildung 11 abzudrucken. Dr. Werner Marx, Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Stuttgart, schulde ich Dank für die Ermittlung der Entwicklung der Veröffentlichungen über Fullerene und Nanoröhren und die Erstellung der Abbildung 11.

Literatur

- [1] WOLFGANG KRÄTSCHMER & HEIKE SCHUSTER, (Hrsg.) „Von Fuller bis zu Fullerenen. Beispiele einer interdisziplinären Forschung“, Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden 1996.
- [2] W. KRÄTSCHMER, Carbon Molecules as Possible Carrier of the Diffuse Interstellar Bands, *Astrophysics and Space Science* **128**, 93 (1986).
- [3] J. HEIDBERG, H. STEIN & E. Riehl, Resonance, Rate and Quantum Yield of Infrared-Laser-Induced Desorption by Multiquantum Vibrational Excitation of the Adsorbate CH₃F on NaCl, *Phys.Rev.Lett.* **49**, 666 (1982).
- [4] J. HEIDBERG, H. STEIN, Z. SZILÁGYI, D.HOGE & H. WEIß, Desorption by Resonant Laser-Adsorbate Vibrational Coupling, in „Dynamics on Surfaces“, B. PULLMAN, J. JORTNER, A. NITZAN & B. GERBER (Eds.). The Jerusalem Symposia on Quantum Chemistry and Biochemistry. Vol.17, Reidel Publ. Comp., Dordrecht, p.329 (1984).
- [5] E.A. ROHLFING, D.M. COX & A. KALDOR, Production and characterization of supersonic carbon cluster beams, *J. Chem. Phys.* **81**, 3322 (1984).

- [6] H.W. KROTO, J.R. HEATH, S.C. O'BRIEN, R.F. CURL & R.E. SMALLEY, C₆₀: Buckminsterfullerene, *Nature* **318**, 162 (1985).
- [7] D.E.H. JONES (Pseudonym Daedalus), *New Scientist* **32**, 245 (1966).
- [8] Z. YOSHIDA & E. OSAWA, "Aromaticity" (in Japanisch, Kagakudoijn, Kyoto) 1971. E. Osawa, *Chem.Abstr.* **74**, 75698v (1971). (Original in Japanisch: Kagaku, Kyoto 1970).
- [9] D.A. BOCHVAR & E.G. GAL'PERN, *Doklady Akad.Nauk SSSR* **209**, 610 (1973) (engl. Übers.: *Proc.Acad.Sci. USSR* **209**, 239 (1973)).
- [10] H.W. KROTO, Die Entdeckung der Fullerene in „Von Fuller bis zu Fullerenen“, W. Krätschmer, H. Schuster (Hrsg.) Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden, S.53, 1996.
- [11] J. DETTMANN, Fullerene, Birkhäuser-Verlag, Basel, 1994.
- [12] J.R. HEATH, S.C. O'BRIEN, Q. ZHANG, Y. LIU, R.F. CURL, H.W. KROTO, F.K. TITTEL, & R.E. SMALLEY, *J.Am.Chem.Soc.* **107**, 7779 (1985).
- [13] W. KRÄTSCHMER, K. FOSTIROPOULOS & D.R. HUFFMAN, Search for the UV and IR Spectra of C₆₀ in Laboratory-Produced Carbon Dust in "Dusty Objects in the Universe", E. Bussolletti, A.A. Vottone (Eds.), Kluwer, Dordrecht, p.89, 1990.
- [14] W. KRÄTSCHMER, in „Horizonte - Wie weit reicht unsere Erkenntnis heute?“, Günther Wilke et al. (Hrsg.), S. Hirzel, Wiss. Verlagsges., Stuttgart 1993, S.185.
- [15] R. TAYLOR, J.P. HARE, A.K. ABDUL-SADA & H.W. KROTO, *J. Chem. Soc. Chem. Commun.* 1423 (1990).
- [16] W. KRÄTSCHMER, LOWELL D. LAMB, K. FOSTIROPOULOS & DONALD R. HUFFMAN, Solid C₆₀: a new form of carbon, *Nature* **347**, 354 (1990).
- [17] W. KRÄTSCHMER, K. FOSTIROPOULOS & D.R. HUFFMAN, The infrared and ultraviolet absorption spectra of laboratory-produced carbon-dust: evidence for the presence of the C₆₀ molecule, *Chem.Phys.Lett.* **170**, 167 (1990).
- [18] WERNER MARX, Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Stuttgart, private Mitteilung.
- [19] L.T. SCOTT, M.M. BOORUM, B.J. McMAHON, S. HAGEN, J. MACK, J. BLANK, H. WEGNER & A. DEMEIJERE, A rational chemical synthesis of C₆₀, *Science* **295**, 1500, 2002.

Univ.-Prof. Dr. phil. nat. Joachim Heidberg
 Institut für Physikalische Chemie und Elektrochemie
 Universität Hannover · Callinstr. 3-3A · D-30167 Hannover
 priv.: Zuckmayerstr. 9 · D-30453 Hannover

WOLFGANG KRÄTSCHMER, Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg

Kohlenstoff – ein ganz besonderer Stoff

Einleitung

Im Herbst 1985 erschien in der Zeitschrift *NATURE* der elf Jahre später mit dem Nobelpreis gewürdigte Artikel von H.W. Kroto, R.F. Curl, R.E. Smalley und Mitarbeitern über die Entdeckung des C_{60} Moleküls. Die Autoren hatten das Molekül nach dem exzentrischen amerikanischen Architekten R. Buckminster Fuller (1895-1983) „Buckminsterfulleren“ getauft [1] (siehe Abb. 1). Als ich zum ersten mal davon hörte, war meine prompte Reaktion: das ist doch nicht möglich! So ein Riesenmolekül und dann auch noch in Fußballform – erlauben sich die Autoren einen Aprilscherz? Aber das Erscheinungsdatum des Artikels war September; offenbar war es doch ernst gemeint! Man muss dazu wissen, dass zu dieser Zeit sehr wenig über molekularen Kohlenstoff bekannt war, wenn man von

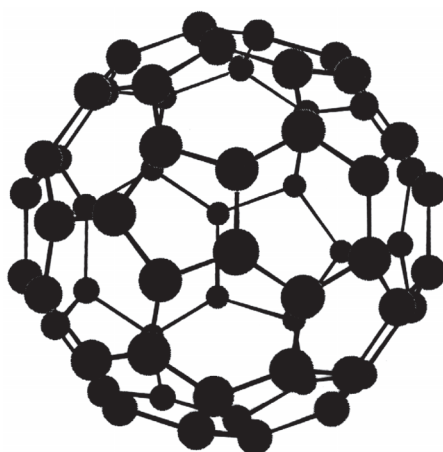


Abb. 1: Das C_{60} Molekül „Buckminsterfulleren“ mit der hochsymmetrischen Fußballstruktur [1]. C_{60} ist der prominenteste Vertreter der „Fullerene“ genannten Klasse von Molekülen, wie C_{70} , C_{76} , C_{84} usw., die nur aus Kohlenstoffatomen besteht und die alle eine geschlossene Käfigstruktur aufweisen. C_{60} besteht aus 12 fünfeckigen Ringen aus Kohlenstoffatomen, die so miteinander verbunden sind, daß sich der charakteristische, aus Fünf- und Sechsecken bestehende Fußball-Polyeder ergibt. Die größeren Fullerene sind weniger symmetrisch aufgebaut.

* Vortrag anlässlich der Verleihung der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille durch die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft am 21. Juni 2002 in Braunschweig, Donald R. Huffman gewidmet.

den Molekülen C_2 und C_3 absieht, die verhältnismäßig gut erforscht waren. Wir in Heidelberg bemühten uns gerade, die Absorptionsspektren der Kohlenstoffmoleküle C_4 bis C_7 zu identifizieren. Dabei benutzten wir die Methode der Matrix-Isolation von Kohlenstoffdampf, eine Technik, die William Weltner Mitte der 1960-iger Jahre eingeführt hatte und die es erlaubt, lineare Kohlenstoffmoleküle dieser Größe zu präparieren (siehe [2] und die Referenzen darin). Man erkennt: Der Abstand von da bis zum Fußball- C_{60} ist beträchtlich. Es ist daher keine Übertreibung zu sagen, dass die Entdeckung von C_{60} eine neue Dimension in der Erforschung molekularen Kohlenstoffs eröffnet hat. Das ist im wörtlichen Sinne zu verstehen. Von den damals bekannten kurzen linearen Ketten sind Kroto, Curl und Smalley zu großen, in sich geschlossenen Käfigmolekülen vorgestoßen. Ihre Entdeckung erinnerte die Forschergemeinschaft an die eigentlich altbekannte Tatsache, daß das Element Kohlenstoff mit Leichtigkeit komplexe Strukturen bilden kann. Diese Fähigkeiten verdanken wir ja auch das organische Leben, wie wir es kennen.

Ich habe damals nicht geahnt, dass wir in Heidelberg dieses wunderbar symmetrische C_{60} Molekül bereits produziert hatten, allerdings ohne es zu wissen. Es bietet sich daher an, etwas über die C_{60} Entdeckungsgeschichte zu erzählen. Der Leser möge verzeihen, denn diese Geschichte hat etwas romanhaftes an sich, und tatsächlich sind bereits Bücher darüber geschrieben (siehe z.B. [3]) und Filme gedreht worden – vornehmlich in England und den USA, wo die Darstellung von Forschung in der Öffentlichkeit eine lange, ungebrochene Tradition hat.

Spektroskopie Interstellarer Materie

Unser Ausgangspunkt in Heidelberg war die Erforschung der interstellaren Materie. Seit geraumer Zeit wissen die Astronomen, dass der Raum zwischen den Sternen nicht vollkommen leer, sondern mit dem sog. interstellaren Medium ausgefüllt ist. Dieses Medium besteht aus einer Mischung von Gas und Staub, wobei der Staub etwa 1% der Masse des interstellaren Gases ausmacht. Trotz dieses kleinen Masseanteils sind die Staubteilchen bestimmend für die optische Transparenz des interstellaren Mediums. Mit ihrer Durchmesser- und Größeverteilung, die zu Größen bis einige 100 nm hinaufreicht, sind sie sehr effizient im Streuen von Licht. Dabei wird das blaue Licht, infolge seiner kürzeren Wellenlänge, stärker gestreut als das rote. Die Summe aus Streuung und Absorption nennt man Extinktion (d.h. Auslöschung), und das ist die Größe, die man beobachtet. Die Extinktion durch den interstellaren Staub bewirkt somit eine allgemeine „Rötung“ des Sternenlichts, in ähnlicher Weise wie auch unsere Sonne beim Auf- oder Untergang rot erscheint, weil der blaue Anteil ihres Lichts durch Streuung an atmosphärischen Staubteilchen verloren geht.

Wichtig zu bemerken ist, dass das interstellare Medium sehr heterogen verteilt ist. Es gibt dichte Wolken, in denen sich neue Sterne bilden können, und die nur von infraroter (IR) und Radiostrahlung durchdrungen werden können, und es gibt sehr verdünnte Bereiche, das sog. diffuse interstellare Medium, das für UV Strahlung und sichtbares Licht durchlässig ist. Man kann spektroskopische Informationen über das interstellare Medium gewinnen, wenn man die Spektren von Sternen untersucht, die durch den Staub „gerötet“ erscheinen, dabei muß man allerdings, je nach der Dichte der betrachteten Wolken, unter-

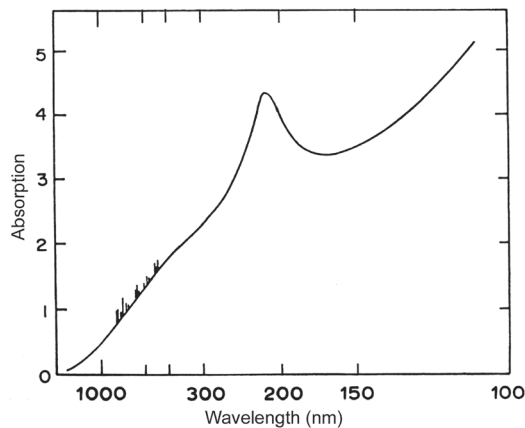


Abb. 2: Das interstellare Medium zeigt ein charakteristisches Absorptionsspektrum. Obwohl das Medium vornehmlich aus Gas (Wasserstoff und Helium) besteht, bestimmen nanoskopische Staubteilchen das hier gezeigte Spektrum. Aufgetragen ist die Absorption (genauer: die Extinktion oder Lichtauslöschung, die Summe aus Streuung und Absorption) als Funktion der Wellenlänge. Der Anstieg vom Roten zum Blauen und Ultravioletten hin kommt durch Streuung des Lichtes an den Staubteilchen zustande. Die breite Struktur bei 220 nm ist dagegen eine reine Absorption und wird wahrscheinlich durch nanoskopische Kohlenstoff-Teilchen mit graphit-artiger Struktur verursacht. Die linienartigen Absorptionen zwischen 400 bis 800 nm sind die "diffusen interstellaren Bänder", deren Träger man nicht kennt.

schiedliche Spektralbereiche verwenden. Für die optische Spektroskopie im UV und sichtbaren Bereich, über die ich hier fast ausschließlich reden werde, ist praktisch nur das verdünnte, diffuse interstellare Medium zugänglich. Die Absorptionen (oder auch Emissionen) in dichten Wolken können nur im IR oder im Radiobereich studiert werden.

Weil das diffuse Medium von der energiereichen interstellaren UV Strahlung durchdrungen werden kann, ist das dortige Staubmaterial sicher stark photoprozessiert. Im Gegensatz dazu sind die dichten Wolken gegen die energiereiche UV Strahlung weitgehend abgeschirmt. Die Staubteilchen darin können so kalt werden, dass ein Teil des interstellaren Gases auf ihnen ausfriert und sie mit Eisanschichten bedeckt.

Das Ziel unserer Arbeit ist, die chemische Zusammensetzung der interstellaren Materie aus den Absorptionsspektren abzuleiten. Die über viele Sternspektren gemittelte und auf eine bestimmte Säulelänge (von 3260 Lichtjahren, was etwa 3×10^{21} Wasserstoffatomen pro cm^2 entspricht) bezogene interstellare Extinktion zeigt Abb. 2. Man erkennt ein vom Roten zum Blauen hin stetig ansteigendes Kontinuum, das der schon erwähnten Rötung des Sternenlichts durch den Staub entspricht und keine direkt verwertbaren Informationen über die chemische Zusammensetzung der Staubteilchen enthält. Diese Informationen liefern aber die Absorptionsstrukturen, die dem Kontinuum überlagert sind. Da ist zunächst eine sehr breite Absorption bei 220 nm Wellenlänge (genauer betrachtet, liegt das Maximum bei 217 nm) und dann viele schmale und schwächere Absorptionen im Bereich des sichtbaren Spektrums und des nahen Ultraviolett. Die letzteren nennt man die diffusen

interstellaren Bänder (DIBs). Diffus deshalb, weil diese Absorptionen wesentlich breiter sind, als die bekannten Atom- oder Moleküllinien. Die intensivsten DIBs sind Mitte der 1920-iger Jahre entdeckt worden; inzwischen kennt man mehr als 200 von ihnen. Der oder die Träger der Bänder sind bisher unbekannt – eines der hartnäckigsten Rätsel der Spektroskopie. Man nimmt heute an, dass größere Moleküle mit einem Grundgerüst aus Kohlenstoffatomen diese Absorptionen verursachen.

Die sehr breite Absorption bei 220 nm wurde Mitte der 1960er Jahre entdeckt, als man mit Höhenforschungsraketen Sternspektren außerhalb der Erdatmosphäre aufnehmen konnte. Auch diese Absorption ist strenggenommen nicht vollkommen verstanden, freilich gibt es überzeugende Argumente, dass auch hier Kohlenstoff eine Rolle spielt, allerdings in Form von nanoskopischen Graphitteilchen. In der Chemie ist bekannt, dass sp^2 hybridisierte Kohlenstoffverbindungen (d.h. solche mit Doppelbindungen) in Bereich um 200–250 nm absorbieren, und Graphit besteht aus Bindungen dieser Art. Warum gerade Kohlenstoff bzw. Graphit „heiße“ Kandidaten für die interstellaren Moleküle und Staubteilchen sind, wird klar, wenn man die Häufigkeiten der Elemente betrachtet. Dazu möchte ich etwas weiter ausholen, und auf die Prozesse eingehen, die zur Entstehung der Elemente geführt haben und die zum Teil immer noch stattfinden.

Elementsynthese und Häufigkeiten

Die relative Häufigkeitsverteilung der Elemente in unserer Sonne zeigt Abb. 3. Die häufigsten Elemente sind Wasserstoff und Helium, die zusammen mit kleinen Mengen ihrer stabilen Isotope Tritium und Helium-3 und etwas Lithium-7 im Urknall entstanden sind und damit seit Anbeginn unseres Universums existieren. Der Begriff „Urknall“ gibt mir Gelegenheit, auf die stürmische Entwicklung hinzuweisen, die die Kosmologie in den letzten Jahren gemacht hat. Gleichzeitig kann ich dabei auch einen interessanten Aspekt der zahlreichen Arbeiten von Carl Friedrich Gauß herausstreichen. Gauß hat versucht, die Geometrie (das Wort bedeutet ja eigentlich „Erdmessung“) von einer Domäne der reinen Mathematik in die einer empirischen Naturwissenschaft zu verschieben. Zu Gauß' Zeiten wurde die euklidische Geometrie als die einzig mögliche angesehen. Gauß war einer der ersten, der diese Ausschließlichkeit in Frage gestellt hat und allgemeine, d.h. nicht-euklidische Geometrien entwickelte. Davon zeugen seine Arbeiten über gekrümmte Flächen. Gauß war der Meinung, dass die Entscheidung über die wirkliche Geometrie der Welt durch Messungen, etwa mit Theodoliten oder anderen optischen Geräten bestimmt werden könne. Wenn sich auch in der Folgezeit die Erdoberfläche oder unser Planetensystem für diesen Zweck als zu klein erwies, hat die Anregung von Gauß weiter gewirkt. Nicht-euklidische Geometrien haben nämlich hundert Jahre später in der Kosmologie eine zunehmend wichtige Rolle gespielt, etwa bei den auf Einsteins allgemeiner Relativitätstheorie basierenden Weltmodellen. Heute ist man in der Tat zu einem definitiven experimentellen Resultat im Gaußschen Sinne gelangt. Beim genauen Ausmessen der Inhomogenitäten der kosmischen 3 K Hintergrundstrahlung stellte sich die Weltgeometrie als euklidisch heraus. So beruhigend dieses Ergebnis auf den ersten Blick erscheinen mag – unsere simple Schulgeometrie gilt also auch über ganz große, d.h. universelle Skalen – es

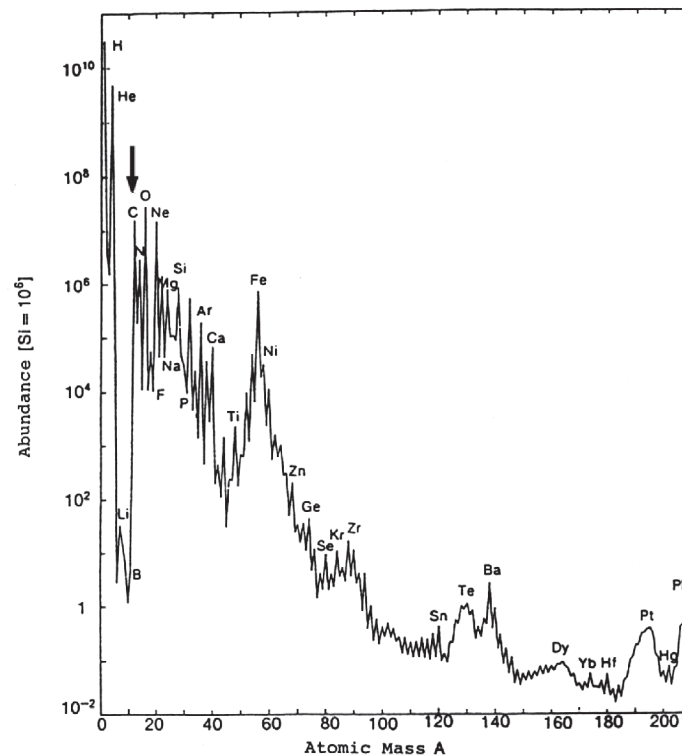


Abb. 3: Die Häufigkeit der Elemente in unserem Sonnensystem, die man als repräsentativ für die Verteilung der Elemente in unserer weiteren kosmischen Umgebung ansehen kann. Die Elemente Wasserstoff und Helium (sowie Lithium) stammen noch aus dem "Urknall", der Anfangsphase unseres Universums. Die Elemente bis zum Eisen wurden im Inneren von massereichen Sternen durch Kernfusion erbrütet und die restlichen schweren Elemente sind durch Neutroneneinfang-Reaktionen bei Sternexplosionen erzeugt worden.

öffnet die Büchse zu einer kosmologischen Pandora: Es stellt sich nämlich heraus, dass unter diesen Bedingungen nur etwa 5% des Universums aus der uns bekannten Materie bestehen kann, der Rest an gravitierender Masse muss etwas anders sein, eine uns bisher weitgehend unbekannte Art der Materie und Energie (siehe z.B. [4] und die da enthaltenen Referenzen). Was mir also im folgenden bleibt, ist über diese 5% der normaler Materie zu reden. Es bedarf einiger Gewöhnung sich vorzustellen, dass unsere gute alte Materie, die nicht nur den Chemikern lieb und teuer ist, einen so marginalen Teil der Welt auszumachen scheint.

Man kann sich fragen, warum beim Urknall nicht mehr Elemente entstanden sind als nur Wasserstoff und Helium. Das liegt weniger an den physikalischen Bedingungen während der Urknall-Explosion, als vielmehr an der Instabilität des Elements bzw. Kerns

Beryllium-8, das den Aufbau zu schwereren Kernen hin blockiert. Beryllium-8, das aus der Fusion von zwei Heliumkernen entsteht, zerfällt in einer Zeit von nur 10^{-16} Sekunden in zwei Heliumkerne (α -Teilchen) zurück. In der Endphase des Urknalls, als die besagten ersten Elemente entstanden, waren die Dichten an Heliumkernen zu klein und die Stoßzeiten zu lang, um die Beryllium-8 Barriere zu überspringen. Die Bedingungen für eine weitergehende Elementsynthese wurden günstiger, als sich aus den ursprünglichen Elementen Wasserstoff und Helium die ersten Sterne bildeten. Dann konnten im Inneren der Sterne durchaus Bedingungen entstehen, unter denen innerhalb der 10^{-16} Sekunden Lebensdauer von Beryllium-8 ein dritter Heliumkern dazwischen stoßen kann und es zur Fusion zu Kohlenstoff-12 kommt. Den Prozess nennt man Tripel- α -Reaktion. Es ist das Verdienst von vier Forschern, nämlich E.M. Burbidge, G.R. Burbidge, W. Fowler und F. Hoyle, Mitte der 1950-er Jahre diese und andere Reaktionswege der Nukleosynthese aufgedeckt zu haben [5], nachdem bereits vorher H. Bethe und C.F. v. Weizsäcker die Fusion von Wasserstoff zu Helium als die Kernreaktion erkannt hatten, die im Inneren unserer Sonne abläuft und uns mit Energie versorgt. Für die Kohlenstoffbildung durch Tripel- α -Fusion sind höhere Temperaturen und Dichten erforderlich, als sie z.Z. im Sonneninneren herrschen. Man geht aber davon aus, daß massereichere oder weiter entwickelte Sterne die Bedingungen zur Kohlenstoffbildung bereitstellen. Es ist vielleicht auch noch interessant, eine Geschichte aufzugreifen, die mit der Tripel- α -Reaktion verknüpft ist. Hoyle bemerkte, daß die üblichen Kernreaktionsraten nicht ausreichen, die Menge an existierendem Kohlenstoff zu erklären. Er vermutete daher eine Resonanz, d.h. eine Überhöhung im Wirkungsquerschnitt der Tripel- α -Reaktion, die dann auch experimentell bestätigt wurde. Viele Forscher hat die scheinbare Feinabstimmung der Bedingungen irritiert, die für die Kohlenstoffbildung, und daher für die Entwicklung von Leben kritisch sind: ohne die erwähnte Resonanz gäbe es zu wenig Kohlenstoff, bei einer etwas stärkeren Resonanz könnten wir uns vor Kohlenstoff nicht mehr retten! Dieses und weitere, ähnlich gelagerte Probleme führten zu der Vermutung, daß es ein "anthropisches Prinzip" geben könnte, wonach – kurz gesagt – das Universum einzig und allein zu dem Zweck geschaffen wurde, uns Menschen hervorzubringen! Ich möchte dazu keinen Kommentar abgeben, sondern nur feststellen, wie hochgradig interdisziplinär die Beschäftigung mit Kohlenstoff ist; sie führt bis in die Bereiche der Theologie!

Ist der Kohlenstoff gebildet, und auch die anderen Elemente bis zum Eisen im Inneren der Sterne durch Fusion "erbrütet" worden, stellt sich das Problem, diese Elemente hinaus in den Weltraum zu bringen. Denn nur aus den interstellaren Wolken können sich durch Zusammenballung und Gravitation neue Sterne bilden. Die erzeugten schweren Elemente helfen selbstverständlich auch, die neu entstehenden Sterne mit Planetensystemen auszustatten. Die Natur macht die Ausbreitung der Elemente möglich, einmal durch heftige Effekte wie Sternexplosionen, oder zum anderen durch sanfte Sternenwinde, bei denen die äußere Hülle der Sterne in den Weltraum abgeblasen wird. Sternexplosionen, wie Supernovae, sind schließlich auch für die Bildung der ganz schweren Elemente bis hinauf zum Uran verantwortlich, wobei der Aufbau durch sukzessiven Neutroneneinfang (und anschließenden β -Zerfall) eine wichtige Rolle spielt. Nachdem viele Sternenerationen auf diese Weise das interstellare Medium mit schwereren Elementen angereichert haben, ergibt

sich die Verteilung von Abb. 3. Unsere Sonne ist mit ihrem Alter von 4,6 Milliarden Jahren ein relativ spät entstandener Stern.

Kohlenstoff und seine Formen

Die altbekannten Formen kristallinen Kohlenstoffs sind Graphit und Diamant. Von graphitartigen interstellaren Staubeilchen war schon die Rede. Interessanterweise hat man in bestimmten Meteoriten, von denen man annimmt, dass sie interstellares Material enthalten, nanoskopische Diamantkristalle entdeckt [6]. Also scheint auch diese Form von Kohlenstoff im Weltraum vorzukommen. Nicht klar ist zur Zeit, wie sich die Diamanten dort haben bilden könnten. Auch die zu erwartenden UV Absorptionen dieser Nanokristalle konnten bisher nicht zweifelsfrei in den Extinktionsspektren des interstellaren Mediums nachgewiesen werden. Diamant und Graphit sind Formen, in denen die Kohlenstoffatome ausschließlich sp^3 bzw. sp^2 hybridisierte Elektronenorbitale zeigen. Aus systematischen Gründen sollte man auch eine Modifikation erwarten, in der die Kohlenstoffatome ausschließlich sp hybridisiert sind, d.h. in Form von linearen Ketten vorliegen. Obwohl man weiß, dass längere Kohlenstoffketten hochgradig instabil sind, gibt es immer wieder Berichte in der Literatur, wonach derartige kristalline Kohlenstoffmodifikationen zu existieren scheinen.

Im Graphit liegt die klassische, ebene sp^2 Kohlenstoffbindung vor. Bei den Fullerenformen, auf die ich noch näher eingehen werde, bildet der Kohlenstoff geschlossene kugelförmige (die Fullerene) oder zylindrische (die Kohlenstoff-Nanoröhrchen) Strukturen, bei denen nicht ebene, sondern gespannte sp^2 Bindungen vorliegen. Diese bezeichnet man auch als sp^x hybridisiert, wobei x eine Zahl zwischen 2 und 3 ist und den „pyramidalen“ Anteil der Bindung beschreibt.

Die Formenvielfalt von Kohlenstoff ist aber dadurch noch bei weitem nicht erschöpft. In den verschiedenen Rußen liegen statistische Mischungen von Kohlenstoffatomen mit sp^2 , sp^3 und sp^x Bindungen vor, und diese Mannigfaltigkeit bildet eine Welt für sich. Der Diamant existiert in verschiedenen Kristallformen, und auch räumlich vernetzte, d.h. nicht-planare Graphitstrukturen könnten theoretisch existieren. Möglicherweise gehört dazu der Chaoit, eine im Meteoritenkrater des Nördlinger Ries entdeckte kristalline Form von Kohlenstoff mit hexagonaler Elementarzelle, aber nicht genau bekannter atomarer Struktur [7].

Die Besonderheit von Kohlenstoff liegt also darin, sehr verschiedene Bindungsgeometrien (linear, planar, tetraedisch samt allen Zwischenstufen) anzunehmen, und insbesondere auch in der Fähigkeit, Bindungen mit anderen Kohlenstoffatomen einzugehen. Ein sehr soziales Element! Kann man von grundlegenden Prinzipien her verstehen, warum gerade Kohlenstoff diese außerordentlichen Fähigkeiten besitzt? Ich glaube, das ist keine einfach zu beantwortende Frage. Die Bindungsarten, über die die Chemiker seit van't Hoff gerätselt haben, hat Pauling durch die Hybridisierung der Atomorbitale erklärt. Aber warum sind diese Effekte gerade beim Kohlenstoff so wichtig? Wesentlich ist sicher die Kernladungszahl $Z = 6$, die die Atomgröße, die Anzahl der Elektronen und damit die Elektronenstruktur bestimmt. Silizium hat die gleiche Valenzelektronenstruktur, doch die Elektronendichte und das Kernpotential dieses Elements ermöglichen nicht die Flexibilität

in den Orbitalen und beschränken seine Bindungsmöglichkeiten. Offenbar liegt hier wieder eine dieser segenseichen „Feinabstimmungen“ in der Natur vor.

Nanoteilchen aus Graphit

Wir haben schon den interstellaren Staub kennengelernt, dessen Zusammensetzung, Größenverteilung und andere Charakteristika sich im Prinzip aus seinen spektralen Eigenschaften herleiten lassen sollten. Es bietet sich daher an, die optischen Absorptionen geeigneter Materialien im Labor zu untersuchen und zu prüfen, ob sie denen des interstellaren Staubes entsprechen – also gewissermaßen interstellare Materialforschung zu betreiben. Einige Forscher beschäftigen sich damit sehr intensiv, in Deutschland unter anderem die Gruppe um Th. Henning an der Universität Jena. In loser Zusammenarbeit mit Donald R. Huffman von der Universität von Arizona in Tucson, der einer der führenden Kapazitäten auf diesem Gebiet ist, waren auch wir in Heidelberg Anfang der 1980-er Jahre in diesem Feld tätig. Unsere Zusammenarbeit vertiefte sich, als Huffman den Humboldtpreis erhielt und 1982/83 an unserem Institut arbeitete. Dabei versuchten wir insbesondere zu klären, ob die breite und intensive 217 nm Absorption tatsächlich durch graphitartige Teilchen verursacht wird. Es ist natürlich klar, dass man die Bedingungen, die im interstellaren Raum herrschen, nicht im Labor simulieren kann. Wir hofften aber, um irgendwie anzufangen, dass diese Bedingungen nicht allzu kritisch in unsere Resultate eingehen würden oder dass man die unterschiedlichen Bedingungen später schon berücksichtigen kann. Ein Problem wird sofort klar: Produziert man Nanoteilchen im Labor in dem begrenzten Volumen einer Apparatur, dann tendieren sie zu verklumpen und größere Aggregate zu bilden – wenn man nicht besondere Tricks anwendet, dies zu verhindern. Im Weltraum haben die Nanoteilchen Platz sich zu verteilen; im Mittel sollten sie einige Meter Abstand voneinander haben, also völlig isoliert sein. Die Spektren von verklumpten und isolierten Teilchen (maßgebend ist hier das Verhältnis Teilchenabstand zu Wellenlänge) können sehr verschieden sein – schon allein wegen der Lichtstreuung, die an den Teilchenaggregaten viel stärker wirksam wird, als wenn dieselben Teilchen durch einen großen Abstand voneinander isoliert sind. Man muss die Absorptionsspektren von verklumpten Teilchensystemen also mit Vorsicht interpretieren.

Zur Produktion von graphitartigen Nanoteilchen benutzten wir eine Kohlenstoff-Aufdampfanlage, wie sie auch für die elektronenmikroskopische Präparation verwendet wird (Abb. 4). Diese besteht aus einem evakuierbaren Rezipienten, d.h. einem Glasgefäß, in dem sich zwei kontaktierte Graphitelektroden befinden. Wird ein genügend hoher Strom durch die Elektroden geschickt, so verdampft der Graphit und kondensiert auf exponierten Substraten bzw. an den Wänden der Apparatur. Auf diese Weise kann man Kohlenstoff-Aufdampffilme erzeugen. Für unsere Teilchenproduktion verwendeten wir einen bekannten Trick: wir betrieben die Anlage nicht im Vakuum, sondern in einer Edelgasatmosphäre (meist Helium) von einigen Torr (Hektopascal) Druck. Das Edelgas dient dazu, die Kohlenstoffatome und Moleküle des Dampfes durch Stöße abzukühlen, so dass es im Inneren des Rezipienten zur Kondensation des Kohlenstoffs in Form nanoskopischer graphitischer Teilchen kommt. Es ist eindrucksvolles Schauspiel, die Teilchenwolken, die

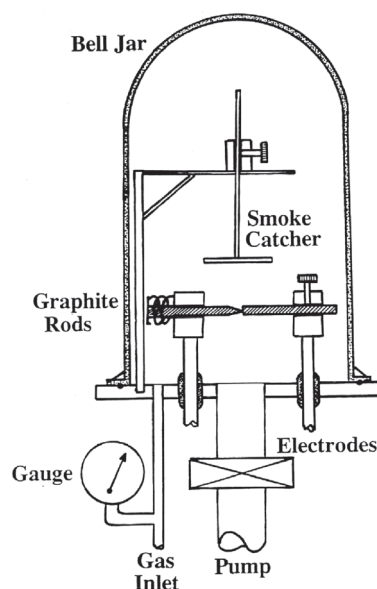


Abb. 4: Das Prinzip einer Anlage zur Fullerenenerzeugung. Graphitstäbe werden elektrisch durch Widerstandsheizung verdampft und der Dampf in einer Atmosphäre aus Helium (von etwa 0.1 atm. Druck) kondensiert. Dadurch entstehen neben nanoskopischen Teilchen aus Kohlenstoff auch mit hoher Ausbeute (10%) Fullerene (vorwiegend C_{60}). Der fullerenhaltige Ruß kann auf Substraten aufgefangen, oder aus dem Inneren der Anlage "geerntet" werden. Die Pumpe dient zum Evakuieren des Glaskolbens, sodaß dieser über den Gaseinlaß mit reinem Helium beschickt werden kann. Die Originalapparatur befindet sich jetzt im Deutschen Museum in Bonn.

im Streulicht der glühenden Graphitelektroden blau erscheinen, wie Zigarettenrauch im Rezipienten zirkulieren zu sehen. Der Staub kann auf Substraten aufgefangen und anschließend spektroskopiert werden. Im Unterschied zu den fest haftenden Aufdampffilmen sind die Staubschichten so locker, daß sie leicht, etwa mit einem Pinsel weggewischt werden können.

Erste Spektren von C_{60}

Die Spektren, die wir erhielten, sahen manchmal normal und manchmal ungewöhnlich aus (Abb. 5). Normal heißt hier, dass ein intensives Absorptionsmaximum in der Nähe von 220 nm auftrat, wie man es für graphitische Teilchen erwartet, allerdings zusammen mit einem breiten Flügel zu längeren Wellenlängen hin. Dieser Flügel, der die Absorption sehr viel breiter als die interstellare 220 nm Struktur erscheinen läßt, kommt wahrscheinlich durch Lichtstreuung an Aggregaten von verklumpten Teilchen zustande. Inzwischen sind von der erwähnten Gruppe in Jena Messungen an isolierten Teilchensystemen durchgeführt worden, die diese Annahme bestätigen [8].

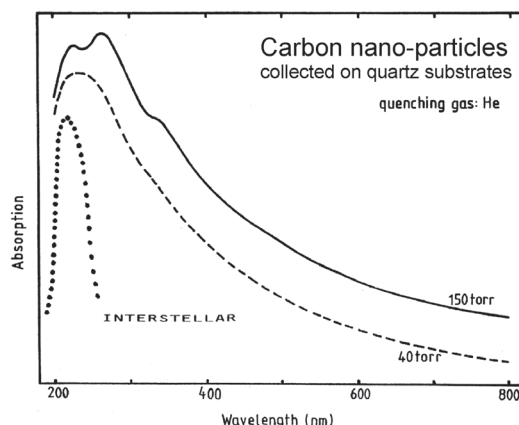


Abb. 5: Die UV-vis Absorptionsspektren der gesammelten Kohlenstoffteilchen im Vergleich zu der interstellaren Absorption bei 220 nm. Die extreme Breite der gemessenen Absorptionen kommt durch die Verklumpung der Nanoteilchen zustande. Daß die Teilchen Klumpen bilden, ist ein Effekt, der in unserer Laborapparatur, nicht aber im hoch verdünnten interstellaren Medium auftritt. Bei größerem Heliumdruck im Rezipienten treten zusätzliche Absorptionen in den gemessenen Rußspektren auf (die auffälligen drei Höcker). Diese stammen von C_{60} .

Unsere ungewöhnlich aussehenden Spektren zeigten deutlich zusätzliche Absorptionen, insbesondere bei 340, 265 und 215 nm, die wir uns nicht erklären konnten. Der Träger dieser zusätzlichen Absorptionen ist C_{60} . Das stellte sich allerdings erst einige Jahre später heraus. Ich vermutete damals, wir hätten es mit einer Verunreinigung in unserer Apparatur zu tun, etwa Pumpenöl oder Vakuumpfett. Huffman glaubte an Strukturänderungen in den Graphitteilchen.

Nach der Entdeckung von C_{60} und dem damals revolutionär erscheinenden Strukturvorschlag der späteren Nobelpreisträger [1] überraschte mich Huffman mit der Vermutung, unser unbekannter Absorber könnte C_{60} sein! Das schien mir äußerst unwahrscheinlich. Ich war daher nicht sehr eifrig, dieser Vermutung nachzugehen, zumal ich auch mit anderen Projekten beschäftigt war. Erst 1988 widmeten wir uns unabhängig in Tucson und in Heidelberg wieder der Erforschung des Graphitstaubes, ich eigentlich mehr in der Absicht, Huffmans Vermutung zu widerlegen. Es kam anders: Zusammen mit dem Studenten Bernd Wagner stellte ich fest, dass die ungewöhnlichen Absorptionen besonders stark werden, wenn man den Druck des Kühlgases auf 100-200 Torr erhöht. Dann machten wir die sehr überraschende Entdeckung, dass dieses Staubmaterial vier recht scharfe Absorptionen in IR besaß, und zwar zwischen 1400 und 500 cm^{-1} (Abb. 6). Das war genau das Muster an Linien, das man für C_{60} mit Fußballstruktur erwartete. Es war einfach zu schön um wahr zu sein! Ich konnte nicht glauben, dass die Herstellung eines so großen und hochsymmetrischen Moleküls in so simpler Weise erfolgen sollte. Und schließlich, warum wurde C_{60} nicht längst entdeckt, denn unsere Methode der Rußpräparation ist schon von

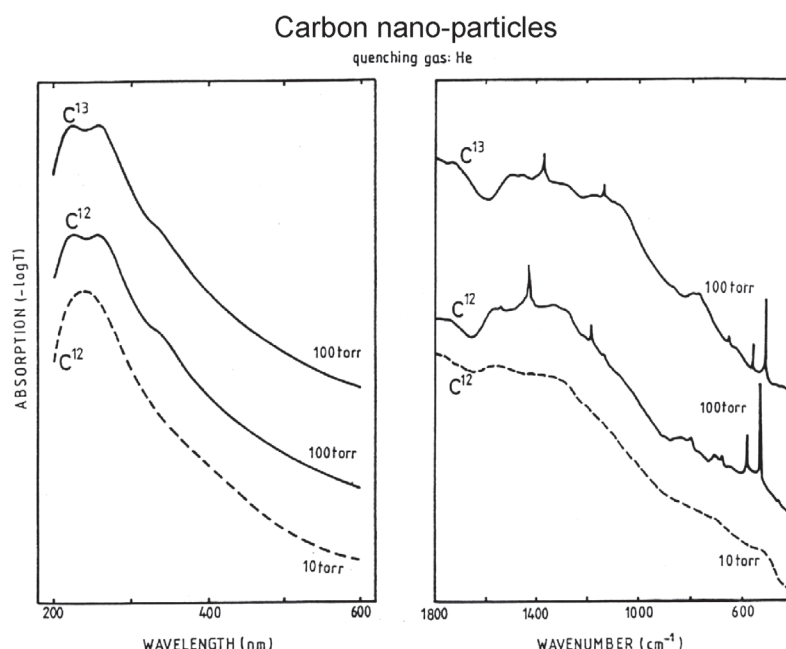


Abb. 6: Vergleich von UV-vis und IR Spektren der erzeugten Rußteilchen bei niedrigem und höherem Heliumdruck. Mit den zusätzlichen UV-vis Absorptionen treten im IR vier recht scharfe Linien auf, die deutlich aus dem Kontinuum der Rußabsorption herausragen. Für C_{60} mit Fußballstruktur erwartete man genau diese Konstellation von IR Absorptionen. Zu Absicherung des spektroskopischen Befundes diente eine Präparation von Fullerenruß mit isotopenreinem ^{13}C . Im IR Spektrum ergab sich die für reine Kohlenstoffmoleküle erwartete Verschiebung der Linienpositionen [8].

vielen Forschern in der Vergangenheit verwendet worden, insbesondere in der ersten Hälfte des 20sten Jahrhunderts, als Kohlelichtbögen sehr populär waren.

Fast völlige Gewissheit darüber, dass C_{60} tatsächlich der Träger unserer Absorptionen ist, ergaben erst Experimente, die ich zusammen mit dem Doktoranden Konstantinos Fostiropoulos durchführte und bei denen wir Graphitelektroden verwendeten, die nicht aus normalem Kohlenstoff (d.h. fast reinem ^{12}C), sondern aus isotopisch fast reinem ^{13}C bestanden. In den IR Spektren dieser Proben fanden wir dasselbe Muster an Linien, aber um den Faktor $(12/13)^{1/2}$ zu kleineren Wellenzahlen hin verschoben [9]. Das Ergebnis war sehr ermutigend, musste doch der Absorber ein reines Kohlenstoffmolekül sein. Aber wir hatten immer noch arge Zweifel. Eine so sensationell einfache C_{60} Synthese würde uns keiner abnehmen – hatten sich denn nicht schon kompetente Chemiker vergeblich darum bemüht? Ein weiterer Grund zum Zögern war der Schock der „Kalten Fusion“, der zu dieser Zeit die Gemeinde der Wissenschaftler sehr allergisch gegen „sensationell einfache Verfahren“ gemacht hatte.

Die vier C_{60} Absorptionslinien im IR Spektrum sind so bemerkenswert, dass man darüber etwas mehr sagen sollte. Ein Molekül mit 60 Atomen hat bekanntlich $3N-6 = 174$ Vibrationsfreiheitsgrade. Infolge der hohen Symmetrie (I_h) des C_{60} kann das Licht nur schwer ein molekulares Dipolmoment anregen, d.h. den Ladungsschwerpunkt des Moleküls verschieben. Die Gruppentheorie liefert das schon erwähnte Resultat, dass für fußballsymmetrisches C_{60} gerade 4 Schwingungen (der Spezies T_u) infrarotaktiv sein sollten. Da jede dieser Schwingungen 3-fach entartet ist, ergibt das insgesamt nur 12 Moden. Alle anderen Schwingungen sind entweder Raman-aktiv (10 Schwingungen, von denen 2 einfach und 8 fünffach entartete sind) oder optisch inaktiv, sog. "stille Moden". Diese Betrachtungen gelten allerdings nur bei perfekter Symmetrie, also für freie C_{60} Moleküle. Die von uns präparierten Kohlenstoffmoleküle sind sicherlich nicht frei, denn sie sind irgendwie an die nanoskopischen Graphiteilchen gebunden oder bilden selbst eine Teilchenpopulation. Dass die IR Absorptionen so relativ scharf sind und nicht wie in vielen Fällen in der Festkörperspektroskopie breite Peaks darstellen, liegt offenbar an der schwachen, vornehmlich van der Waals Wechselwirkung zwischen den C_{60} Bällen und ihrer Umgebung. Daher ist auch die Entartung der Vibrationsniveaus nicht erkennbar aufgehoben und keine Aufspaltung der Absorptionslinien zu bemerken.

Die Gruppentheorie kann zwar die symmetriebedingte Anzahl und Entartung von IR Absorptionen vorhersagen, aber um die Wellenlängenpositionen und Intensitäten der Linien zu erhalten, sind detaillierte quantenchemische Rechnungen notwendig. Berechnungen der mutmaßlichen Linienpositionen lagen zur Zeit unserer Arbeiten bereits vor [10,11] und ergaben gute Übereinstimmung mit den Beobachtungen: Zwei T_u Schwingungen höherer Energie, bei denen die Atome des C_{60} in tangentialer Richtung zur Fußballoberfläche ausgelenkt werden und zwei T_u Schwingungen bei kleinerer Energie, hervorgerufen durch Bewegungen der Atome in radialer Richtung. Unser Glück war, dass alle vier IR Linien auch sehr intensiv sind und heute als „IR-Fingerabdruck“ von C_{60} gelten. Es stellte sich im Laufe der weiteren Forschung heraus, dass die anderen, weniger symmetrischen Fullerene wie z.B. C_{70} , die in dem Prozess miterzeugt werden und kompliziertere IR Spektren mit vielen Linien aufweisen, nur in geringen Häufigkeiten auftreten und das „Vier-Linien-Spektrum“ nicht nachhaltig stören. Ein ebenfalls glücklicher Umstand.

Präparation der Fullerene

Eigentlich waren wir nun der Meinung, unsere Arbeit abschließen zu können. Das C_{60} Material hielten wir für eine Art „Edelruß“, der wie normaler Ruß chemisch unzugänglich ist und keine weitere Charakterisierung erlaubt. Und wiederum hatten wir Glück: Der Chemiker Werner Schmidt, der auf dem Gebiet der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAKs) arbeitet, und der Kenntnis von unserer spektroskopischen Arbeit hatte, gab uns zwei sehr wertvolle Tips, wie man C_{60} von den Rußteilchen abtrennen könnte. Basierend auf seiner Erfahrung mit großen PAKs sollte C_{60} in unpolaren Lösungsmitteln löslich, und müsste auch bei Temperaturen um 500 °C sublimierbar sein. Wir probierten beides aus, und es funktionierte auf Anhieb! Besonders leicht und problemlos ist die Lösungsmittelextraktion, etwa mit Toluol. Man erhält eine rote Lösung, wenn man

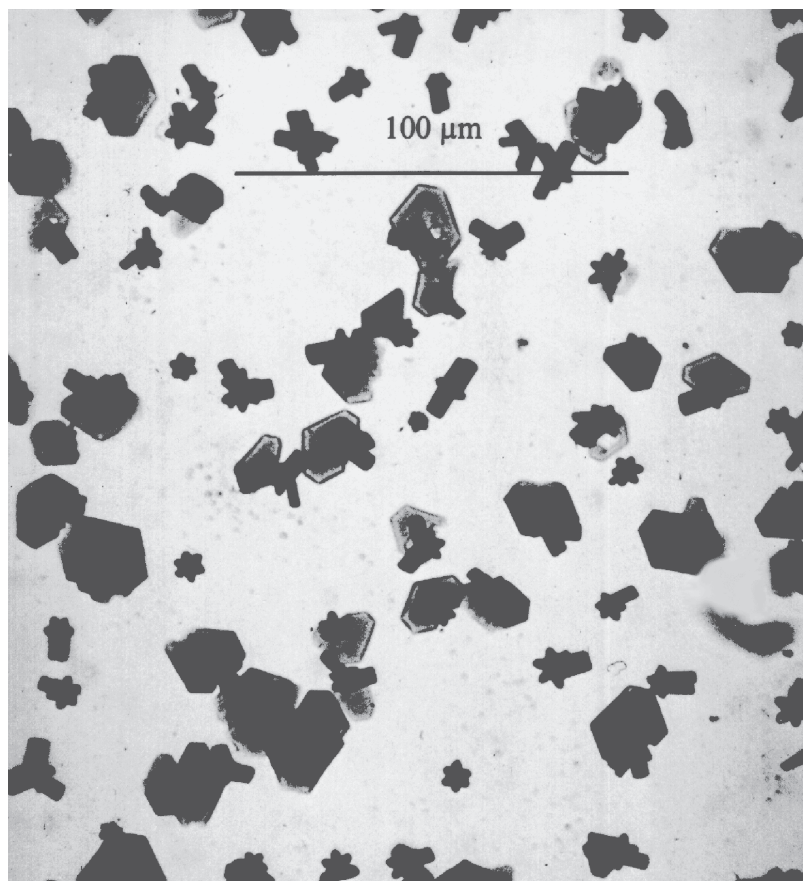


Abb. 7: Eines unserer ersten Bilder von Fullerenkristallen auf Objektträgergläsern (Mikroskop-auf-nahme, Durchlicht). Nach der Extraktion des Fullerenruß mit Benzol wurde die Fullerenlösung eingetrocknet und es entstanden diese plättchenförmigen Kristalle, die im Durchlicht rötlich braun erscheinen, und aus einer Mischung von C_{60} (ca. 90%) und C_{70} (ca. 10%) bestehen. Festes C_{60} hat eine Dichte von etwa $1,7 \text{ g/cm}^3$ und einen Brechungsindex von etwa 1,9 im sichtbaren Spektralbereich.

den erzeugten graphitischen Ruß mit dem Lösungsmittel aufschwämmt und dann den Ruß abfiltriert. Die Lösungen aus reinem C_{60} sind violett, wie sich später herausstellte, und die rote Farbe kommt vom miterzeugten C_{70} , dessen Anteil relativ zum C_{60} zwar nur etwa 10% beträgt, das aber die Farbe der Lösung bestimmt [12]. Noch größere Fullerene als C_{70} treten ebenfalls auf, allerdings mit sehr kleiner Häufigkeit (Anteil $< 1\%$).

Lässt man das Lösungsmittel verdampfen, kristallisieren die Fullerene in Form von Plättchen, die im Durchlicht braun erscheinen (Abb. 7). Infolge ihres hohen Brechungs-

index' (ungefähr 1,9) sind die Plättchen im reflektierten Licht heller als die Glasunterlage. Das Massenspektrum der Substanz beseitigt alle letzten Zweifel: es sind Fullerene, hauptsächlich C_{60} .

Ein Papier über diese Resultate haben wir Anfang August 1990 bei der Zeitschrift *NATURE* zur Veröffentlichung eingereicht [13]. Unser Beitrag wurde sehr wohlwollend begutachtet – es waren zwei der späteren Nobelpreisträger, die ihre Anonymität preisgaben und uns zu einer schnellen Veröffentlichung verhalfen. Auch erhielten wir auf verschiedenen Konferenzen die Möglichkeit, über unsere Entdeckung zu berichten. Damals fing etwas an sich in Bewegung zu setzen, was bis heute nicht an Impuls verloren hat: Die Fulleren- und Nanotube-Forschung. Wir hatten das Glück, dazu beigetragen zu haben.

Fullerenbildung

Es widerspricht eigentlich aller chemischen Intuition, dass so wohlgeordnete Strukturen wie die Fullerene bei derart hohen Temperaturen gebildet werden, wie sie bei der Verdampfung und Kondensation von Kohlenstoff herrschen (ca. 2500 °C). In den derzeit betriebenen Fulleren-Generatoren wird der Graphit nicht mehr durch Widerstandsheizung, sondern durch eine Bogenentladung verdampft, die im Kühlgas Helium brennt und einen kontinuierlichen Betrieb der Anlage ermöglicht. Die Fullerenbildung erfolgt auch verblüffend effizient: Übliche Ausbeuten betragen 10-20% Fullerene (bezogen auf den produzierten Graphitruß). Der Löwenanteil entfällt auf C_{60} . In dem originalen Kroto-Smalley-Experiment von 1985 [1], bei dem der Graphit durch Laserbeschuss verdampft und anschließend in einer Helium Überschallströmung gekühlt wurde, sind die Fullerene nur massenspektrometrisch nachgewiesen worden. Aus dem gleichzeitig anfallenden Ruß konnten keine messbaren Mengen von Fullerenen extrahiert werden. Offensichtlich war unter diesen Bedingungen die Fullerenausbeute extrem klein. Smalley und Mitarbeiter konnten nun zeigen, dass es für die effiziente Fullerenbildung ganz entscheidend ist, unter welchen Bedingungen der Kohlenstoffdampf kondensiert [14]. Verdampft man Graphit durch Laser-Ablation in einem Strom von heißem (800 -1200 °C) Edelgas (z.B. ein Strom von Argon, erhitzt in einem Quarz-Rohr, das von einem Ofen umschlossen ist), so erhält man Fullerene mit ähnlicher Ausbeute wie in einem Fulleren-Generator. Ist das Edelgas kälter als 800 °C, sinken die Fullerenausbeuten im gewonnenen Ruß drastisch ab. In einem konventionellen Fulleren-Generator konvektiert das Heliumgas um die heißen Graphitelektroden, und die günstigen Kondensationsbedingungen entstehen gewissermaßen von selbst.

Japanische Forscher haben mit Hilfe von Hochgeschwindigkeits-Kameras Untersuchungen der Laserablation des Kohlenstoffs und dessen Expansion in eine heiße Edelgasatmosphäre durchgeführt. Dabei hat sich folgendes gezeigt: Gibt man dem Kohlenstoffdampf die Möglichkeit rasch (< 150 µs) abzukühlen, unterbleibt die Fullerenbildung, hält man den Dampf bei höherer Temperatur und die Abkühlung erfolgt langsamer (> 400 µs), bilden sich Fullerene [15]. Wie die Vorgänger-Spezies der Fullerene aussehen, ist nur zu vermuten. Laufzeit-Experimente mit Hilfe der Ionenchromatographie (Laufmedium: Helium) offenbarten eine Fülle von metastabilen Strukturen, die als Vorgänger in Frage kommen, und zwar Ketten, monozyklische Ringe, polyzyklische, brezelähnliche Gebilde, eine

Vielfalt von komplexen Formen und Strukturen [16]. Die Fullerene bilden sich entweder durch unimolekularen Zerfall dieser Vorgänger in die energetisch günstigere Fullerenstruktur („top down“ Prozess) oder durch Wachstum und Koagulation kleinerer Einheiten, wie Ketten und Ringe („bottom up“ Prozess). Die große Häufigkeit von C_{60} spricht eher für einen „bottom up“ Wachstumsprozess, bei dem die Kohlenstoff-Cluster in die thermodynamisch günstige Fußballstruktur (ein lokales Energieminimum) hineingetrieben werden.

Die Kondensation von Kohlenstoff aus der Dampfphase ist nicht der einzige Prozess, in dem Fullerene gebildet werden. Bei geeignet gesteuerter Verbrennung entstehen ebenfalls Fullerene, die, zusammen mit Ruß, auf gekühlten Flächen abgeschieden werden können [17]. Die Ausbeuten sind klein und es entstehen viele Nebenprodukte in Form von PAKs, die abgetrennt werden müssen. Dennoch ist bei diesem Prozess der Energieaufwand deutlich kleiner, so dass bei eventueller großtechnischer Fulleren-Produktion die Verbrennungsverfahren interessant werden könnten.

Durch Pyrolyse bestimmter PAKs scheint eine gezielte Synthese von C_{60} möglich zu sein, wie unlängst berichtet wurde [18]. Auch dabei sind die Ausbeuten sehr bescheiden. Dennoch könnten interessante Spezies, wie endohedrale Fullerene, die mit den bisherigen Methoden nur sehr schwer zugänglich sind, damit gezielt herstellbar werden. Das Pyrolyseverfahren vermeidet weitgehend Lösungsmittelchemie und wird deswegen nicht durch die schlechten Löslichkeiten von Zwischenprodukten behindert, wie sie bei konventionellen, auf Reaktionen in Lösungen basierenden Syntheseansätzen auftreten.

Fullerene scheinen auch natürlich vorzukommen, allerdings nur in Spuren, denn sie werden relativ schnell oxidiert. Berichtet wurden Fullerene in geologischen Proben (in der Kreide-Tertiär, sowie Perm-Trias Grenze), in Meteoritenkratern, in durch Blitzeinschläge produziertem Material, in Kohlevorkommen u.a.m. (siehe z.B. [19]). Die meisten dieser Berichte sollte man mit Vorsicht genießen, denn in Labors, in denen mit Fullerenen gearbeitet wird, entstehen schnell Kontaminationsprobleme, die einen zweifelsfreien Nachweis der Spurensubstanz C_{60} erschweren.

Ausblick

Fullerene sind Kinder der Grundlagenforschung. Beweis dafür ist die Tatsache, dass Kroto, Curl und Smalley mit den Experimenten, die zur Entdeckung von C_{60} führten, eigentlich beabsichtigten, etwas über die Bildung interstellarer Kohlenstoffmoleküle zu lernen. Dieses Problem hat insbesondere den Mikrowellen-Spektroskopiker Harry Kroto fasziniert, der zu diesem Zweck von Sussex nach Houston reiste, um die Nobelpreis-experimente in Smalleys Labor an der Rice University durchzuführen. Wir sind mit fast derselben Motivation auf die Fullerene gestoßen. Das kann kaum Zufall sein!

Nach allem bisher Gesagten drängt sich die Frage auf: Kommen Fullerene nun eigentlich im interstellaren Raum vor? Die UV und IR Absorptionen der bekannten Fullerene C_{60} , C_{70} usw. sind bisher im astronomischen Kontext nicht gefunden worden – das ist eigentlich erstaunlich. Ich vermute, dass die Allgegenwart von Wasserstoff der Grund für die Abwesenheit der „reinen“ Fullerene ist, und glaube, dass PAK-Fulleren-Mischstrukturen, das heißt offene oder „löcherige“ Fullerenkäfige, die von sp^2 C-H Bindungen

an den Rändern gesäumt sind, gute Kandidaten für die interstellaren Nanoteilchen abgeben. Zukünftige Laborexperimente werden darüber Klarheit schaffen.

Es ist schon erstaunlich, dass die Astro-Wissenschaft ein so anwendungsnahe, praktisches Ergebnis produzieren konnte. Die Fullerene haben nicht nur die Chemie bereichert, sondern auch nachhaltige Spuren in Festkörper- und Molekülphysik sowie in den Materialwissenschaften hinterlassen. Ich möchte nur an die auf C_{60} basierenden Supraleiter erinnern [20]. Dank der Fullerene ist ein wirklich interdisziplinäres Arbeiten entstanden, was uns daran erinnert, dass es eigentlich nur eine, unteilbare Wissenschaft gibt.

Literatur

- [1] KROTO H.W., HEATH J.R., O'BRIEN S.C., CURL R.F. & SMALLEY R.E., C_{60} : Buckminsterfullerene, *Nature*, **318**, 162-163, 1985
- [2] VAN ORDEN A. & SAYKALLY R.J., Small carbon clusters: spectroscopy, structure, and energetics, *Chem. Rev.*, **98**, 2313-2357, 1998
- [3] BAGGOTT J., Perfect Symmetry – the Accidental Discovery of Buckminsterfullerene, Oxford University Press, (1994) ISBN 0 19 855790 6
- [4] OBERHUMMER H., Maßarbeit im Universum, *Physik in unserer Zeit*, 3, 106-112, 2002
BÖRNER G. & BARTELMANN M., Astronomen entziffern das Buch der Schöpfung, *ibid* 114-120
- [5] CLAYTON D.D., Principles of stellar evolution and nucleosynthesis, McGraw-Hill Book Comp., 1969, Seite 411ff.
- [6] OTT U., Interstellar grains in meteorites, *Nature*, **364**, 25-33, 1993
- [7] ELGORESY A. & DONNAY G., A new allotropic form of carbon from the Ries Crater, *Science*, **161**, 363-364, 1968
- [8] SCHNAITER M., MUTSCHKE H., DORSCHNER J., HENNING TH. & SALAMA F., Matrix-isolated nano-sized carbon grains as an analog for the 217.5 nm feature carrier, *Astrophys. J.*, **498**, 486-496, 1998
- [9] KRÄTSCHMER W., FOSTIROPOULOS, K. & HUFFMAN D.R., The infrared and ultraviolet absorption spectra of laboratory-produced carbon dust: evidence for the presence of the C_{60} molecule., *Chem. Phys. Lett.*, **170**, 167-170, 1990
- [10] CYVIN S.J., BRENDSDAL E., CYVIN B.N. & BRUNVOLL J., Molecular vibrations of footballene, *Chem. Phys. Lett.*, **143**, 4, 377-380, 1988
- [11] WEEKS D.E. & HARTER W.G., Vibrational frequencies and normal modes of Buckminsterfullerene, *Chem. Phys. Lett.*, **144**, 4, 366-372, 1988
- [12] HARE J.P., KROTO H.W., TAYLOR R., Preparation and UV-vis spectra of fullerenes C_{60} and C_{70} , *Chem. Phys. Lett.*, **177**, 4, 5, 394-398, 1991

- [13] KRÄTSCHMER W., LAMB L.D., FOSTIROPOULOS K. & HUFFMAN D.R., Solid C₆₀: a new form of carbon, *Nature*, **347**, 354-358, 1990
- [14] SMALLEY R.E., Self-Assembly of the Fullerenes, *Acc. Chem. Res.*, 25, 98-105, **1992**
- [15] Suzuki S., Yamaguchi H., Ishigaki T., Sen R., Kataura H., Krätschmer W. & Achiba Y., Time evolution of emission by carbon nanoparticles generated with a laser furnace technique, *Eur. Phys. J. D*, **16**, 369-372, 2001
- [16] HELDEN G. VON, GOTTS N.G. & BOWERS M.T., Experimental evidence for the formation of fullerenes by collisional heating of carbon rings in the gas phase, *Nature*, **363**, 60-63, 1993
- [17] HOWARD J.B., MCKINNON J.T., MAKAROVSKY Y., LAFLEUR A.L. & JOHNSON M.E., Fullerenes C₆₀ and C₇₀ in flames, *Nature*, **352**, 139-141, 1991
- [18] SCOTT L.T., BOORUM M.M., MCMAHON B.J., HAGEN S., MACK J., BLANK J., WEGNER H. & DE MEIJERE A., A rational chemical synthesis of C₆₀, *Science*, **295**, 1500-1503, 2002
- [19] BECKER L., Tödliche Treffer in Serie, *Spektrum der Wissenschaft*, Juliheft, 60-67, 2002
- [20] Haddon R.C., Electronic Structure, Conductivity, and Superconductivity of Alkali Metal Doped C₆₀, *Acc. Chem. Res.* 25, 127-133, **1992**

Prof. Dr. rer.nat. Wolfgang Krätschmer
 Max-Planck-Institut für Kernphysik
 Postfach 10 39 80 · D-69029 Heidelberg
 Privat: Pfarrgasse 17 A · D-69251 Gaiberg

**DIE BRAUNSCHWEIGISCHE
WISSENSCHAFTLICHE GESELLSCHAFT**

VERLEIHT DIE
CARL-FRIEDRICH-GAUSS-MEDAILLE

HERRN PROFESSOR

DR. RER.NAT. WOLFGANG KRÄTSCHMER

MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR KERNPHYSIK HEIDELBERG

IN WÜRDIGUNG SEINER BAHNBRECHENDEN BEITRÄGE ZUR
ENTDECKUNG UND INSBESONDERE ZUR PRÄPARATIVEN HERSTELLUNG
DES FULLERENS C₆₀

MIT DIESEM AUS 60 KOHLENSTOFFATOMEN BESTEHENDEN MOLEKÜL –
EINEM ARCHIMEDISCHEN GEKAPPT IKOSAEDRISCHEN HOHLKÖRPER –
WAR NICHT NUR EINE NEUE MODIFIKATION DES KOHLENSTOFFS
ENTDECKT, SONDERN EINE NEUE STOFFKLASSE VERFÜGBAR GEWORDEN,
WELCHE IN EINEM UNVERGLEICHLICHEN AUFSCHWUNG SEIT 1990 DER
WISSENSCHAFTLICHEN FORSCHUNG IN VIELEN DISZIPLINEN
AUSSERORDENTLICHE IMPULSE VERMITTELT UND INZWISCHEN ZU
VIELEN FASZINIERENDEN ENTWICKLUNGEN VON DEN MATERIAL-
WISSENSCHAFTEN BIS HIN ZUR BIOMEDIZIN GEFÜHRT HAT.

Braunschweig, den 30. April 2002



Präsident
der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesell-
schaft

Krätschmer, Wolfgang, Dr.rer.nat., Professor für Kern- und Astrophysik, Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg, Pfarrgasse 17 a, 69251 Gaiberg

- 1942, 16.11. geboren in Berlin
 1961 Abitur am Rheingau-Gymnasium, Berlin
 1961 – 1969 Studium der Physik an der TU Berlin, Diplom
 1969 – 1971 Promotion zum Dr.rer.nat, Universität Heidelberg
 1971 – 1976 Wissenschaftliche Mitarbeit am Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg,
 Arbeiten über kosmische Strahlung
 ab 1977 Arbeiten über interstellaren Staub, insbesondere ab 1982
 Spektroskopie von Kohlenstoffmolekülen und Clustern
 1977 – 1978 Aufenthalt im Labor von Donald R. Huffman, University of Arizona, Tuscon, sowie Roger F. Knacke, State University of New York, Stony Brook
 seit 1979 Arbeiten über C60 und Fullerene
 seit 1983 Co-Investigator bei der Entwicklung eines erdumkreisenden Infrarot-Photo-Spektrometers (ISO) der ESA
 1993 Honorarprofessor an der Universität Heidelberg
- Publikationen: ca. 150 Veröffentlichungen; u.a. Von Fuller zu Fullerenen. Hrsg. Wolfgang Krätschmer und Heike Schuster. Vieweg-Verlag. Braunschweig. 1996
- Mitgliedschaften: Deutsche Physikalische Gesellschaft, Royal Society of Chemistry
- Ehrungen: Stern-Gerlach-Preis für Physik (1992)
 Leibniz-Preis der DFG / Materials Research Society Medal Award (1993)
 Hewlett Packard Europhysics Prize / SGL CARBONFörderpreis (1994)
 Bonner Chemiepreis (1997)

Schlussworte des Generalsekretärs

Meine sehr verehrten Damen und Herren,

vor nunmehr hundertundsechzig Jahren erschien im Verlag Friedrich Vieweg zu Braunschweig ein Buch mit dem Titel „Die Organische Chemie in ihrer Anwendung auf Physiologie und Pathologie“. Es folgte dem nur zwei Jahre zuvor im selben Haus erschienenen Werk „Die Organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie“. Die Autoren von „Printing and the Mind of Man“ (dt. Bücher die die Welt verändern) befanden beide Arbeiten für würdig, in die Reihe der Marksteine der Geschichte des menschlichen Geistes aufgenommen zu werden. Sie stammten aus der Feder von Justus Liebig, der mit ihnen das Erbe jener zwei Bände antrat, die 1789 unter dem Titel „Traité Élémentaire de Chimie“ in Paris publiziert worden waren.

Als deren Autor seinen Kopf unter die Guillotine legte, sagte er mit der Nüchternheit, die den geborenen Wissenschaftler auszeichnet: „La révolution en chimie est faite“ – Die Revolution in der Chemie ist vollbracht. Nicht minder nüchtern bemerkt „Printing and the Mind of Man“ hierzu: „Er hatte recht.“ Nicht recht hingegen hatte Lavoisiers Richter, der bei der Verurteilung verkündet haben soll: „Die Republik braucht keine Wissenschaftler.“ Daß eine solche Republik nichts sein konnte als eine „Furie des Verschwindens“, hat wenig später Hegel in seiner unüberholten Analyse der französischen Revolution klargemacht: seit der griechischen Idee der Polis, der freien Stadt, waren alle dergleichen Unternehmungen nur Furien des Verschwindens.

Warum das so ist, läßt uns Hegel noch in einem andern Zusammenhang sehen: Wer sich auf „sein inwendiges Orakel“ berufe, sei „gegen den, der nicht übereinstimmt, fertig; [...] mit andern Worten, er tritt die Wurzel der Humanität mit Füßen“. Diese Wurzel nämlich ist das freie Gespräch. Blicken wir zurück in die Geschichte der Wissenschaft, ist deshalb leicht zu sehen, wie sie und die Humanität die selbe Wurzel haben.

Das wissenschaftliche Kolloquium am Vormittag und dieser Nachmittag waren schöne Beispiele für das lebendige Wechselverhältnis von Wurzel und Blüte des Zwillingspaars, ein Tag des freien Gesprächs auf der Höhe gegenwärtiger Wissenschaft, für den ich allen Beteiligten sehr herzlich danken möchte, namentlich unsern Gästen, Prof. Martin Jansen aus Stuttgart, Prof. Andreas Hirsch aus Erlangen, Prof. Reinhart Ahlrichs aus Karlsruhe und Dr. Siegmund Roth aus Stuttgart, vor allem aber dem diesjährigen Preisträger der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille, Prof. Wolfgang Krätschmer.

Und wir danken auch unsrer Stadt Braunschweig, die uns jetzt einlädt – nicht auf die Guillotine, sondern ins Bürgermeisterzimmer zu Gesprächen, die an Freiheit nichts verlieren werden, wenn sie nicht länger thematisch gebunden sind.

Ich wünsche Ihnen allen einen schönen Abend.

MITTEILUNGEN

Veröffentlichungen

Im Berichtsjahr wurden veröffentlicht:

„Jahrbuch 2001 der BWG“ mit 178 Seiten

„Abhandlungen der BWG“, Band 51 mit 235 Seiten

„Kraft – Wärme – Kopplung als Beitrag zu Klimaschutz und Energieeinsparung“
Kommission „Recht und Technik“, 4. Colloquium am 20. September 2001, mit
134 Seiten.

Geschäftliche Mitteilungen:

Am 31.12.2002 gehörten der BWG 134 ordentliche Mitglieder an, davon 75 unter 70 Jahren, sowie 75 korrespondierende Mitglieder. Die Zahl der Mitglieder unter 70 Jahren betrug in der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften 28, in der Klasse für Ingenieurwissenschaften 23 und in der Klasse für Geisteswissenschaften 24. Von den ordentlichen Mitgliedern zählten zum Bereich Braunschweig 76, zum Bereich Clausthal 9, zum Bereich Göttingen 9, zum Bereich Hannover 38 und zum Bereich Osnabrück 2.

Das Plenum trat am 13.12.2002 zu seiner jährlichen Hauptsitzung zusammen, nahm die Jahresberichte des Präsidenten und des Generalsekretärs entgegen und beschloss den Haushalt 2003. In den Wahlsitzungen am 19.04.2002 und 13.12.2002 wurden die auf den Seiten 185 ff. vorgestellten Mitglieder zugewählt.

Das am 13.12.2002 tagende Konzil wählte den Gauß-Preisträger 2003 und legte die Feierliche Jahresversammlung auf den 16.05.2003 fest.

Personalia

179

Todesfälle

Es verstarben im Berichtsjahr:

- | | |
|------------|--|
| 22.02.2002 | Hans-Joachim Bogen, Dr.rer.nat., Prof. em. für Botanik an der Technischen Universität Braunschweig. Ordentliches Mitglied in der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften seit 1957 |
| 15.03.2002 | Wolfgang Triebel, Oberregierungsrat a.D., Dr.-Ing., Prof. für Bauforschung an der Universität Hannover. Korrespondierendes Mitglied in der Klasse für Ingenieurwissenschaften seit 1969 (vorher: Klasse für Bauwissenschaften) |
| 21.03.2002 | Kurt Leschonski, Dr.-Ing. Dr.-Ing.E.h., Prof.em. für Mechanische Verfahrenstechnik an der Technischen Universität Clausthal. Ordentliches Mitglied in der Klasse für Ingenieurwissenschaften seit 1985 |
| 28.06.2002 | Karl Gerke, Dr.-Ing. Prof.em. für Geodäsie an der Technischen Universität Braunschweig. Ordentliches Mitglied der Klasse für Ingenieurwissenschaften seit 1965. Präsident der BWG 1978 - 1980, Generalsekretär 1970 - 1971 |
| 28.08.2002 | Hans Günther Natke, Dr.rer.nat. Dr.h.c.mult., Prof.em. für Dynamik, Schall-Messtechnik an der Universität Hannover. Ordentliches Mitglied in der Klasse für Ingenieurwissenschaften seit 1958 |
| 08.11.2002 | Jost Schillemeit, Dr.phil., Prof.em. für Deutsche Literaturwissenschaft an der Technischen Universität Braunschweig. Ordentliches Mitglied der Klasse für Geisteswissenschaften seit 1975 |

NACHRUFE

HERBERT BILLIB

* 21.10.1904 †01.11.2001

Im November des vergangenen Jahres verstarb im hohen Alter von 97 Jahren der ordentliche Professor emeritus der Universität Hannover Dr.-Ing. Dr. nat. techn. h. c. Herbert Billib.

Herbert Billib wurde am 21.10.1904 in Brandenburg an der Havel geboren und kam in jungen Jahren nach Schlesien, in dem er über 30 Jahre lebte und dem er sich Zeit seines Lebens sehr verbunden fühlte. Er zog als kgl. Preuß. Kadett studierte er nach dem ersten Weltkrieg an der Technischen Hochschule Breslau, an der damals bekannte Persönlichkeiten wie Müller-Breslau und Zunker in dem von ihm gewählten Fach Bauingenieurwesen lehrten. Nach Diplom und zweiter Staatsprüfung 1933 folgten Arbeiten für die preußische Kulturbauverwaltung in Schlesien und im Emsland auf den Gebieten Verkehrswasserbau und Flussbau. Zu Beginn des zweiten Weltkriegs wurde ihm im Alter von 35 Jahren die Leitung der Reichswasserwirtschaftsstelle der Weichsel in Danzig übertragen. Im Jahre 1944 wurde er an der Technischen Hochschule Breslau mit einer Arbeit über den Wasserhaushalt des Brachgebiets zum Doktor-Ingenieur promoviert.

Nach dem 2. Weltkrieg war Niedersachsen sein neues Wirkungsgebiet. Zuerst als Dezernent bei der Bezirksregierung in Stade tätig wechselte er 1952 zur Bezirksregierung in Hannover und später in die Abteilung Wasserwirtschaft im Niedersächsischen Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Die Bedeutung des Landwirtschaftlichen Wasserbaus in der Nachkriegszeit, in der Nahrungsmittelproduktion noch die höchste Bedeutung hatte, ist heute kaum noch angemessen nachzuempfinden.

Aus dieser Tätigkeit und in Anerkennung, dass er bei seinen vielfältigen praktischen Aufgaben sich immer auch den wissenschaftlichen Grundlagen widmete, wurde er 1956 zum Ordinarius für Wasserwirtschaft und landwirtschaftlichen Wasserbau an der Technischen Hochschule Hannover berufen.

In den folgenden 18 Jahren schuf Herbert Billib aus dem kleinen Lehrstuhl das in den sechziger und siebziger Jahren wohl größte und leistungsstärkste wasserwirtschaftliche Hochschulinstitut der Bundesrepublik. Seine persönliche Tätigkeit und die seiner vielen Mitarbeiter, von denen mehrere Professoren an wissenschaftlichen Hochschulen wurden, umspannte die weiten Felder des landwirtschaftlichen Wasserbaus, der Grundwasserhydrologie, der Fließgewässerhydrologie, des Kulturbauwesens, der Tropenwasserwirtschaft. Neben den Fragen der quantitativen Wasserwirtschaft standen zunehmend die Fragen der Wasserqualität im Vordergrund der wissenschaftlichen Arbeiten. Entsprechend wurde das Institut schon damals zu einer interdisziplinären Wirkungsstätte ganzheitlicher Wasserwirtschaft mit Ingenieuren, Mathematikern, Biologen, Chemikern, eine Entwicklung, die in der Öffentlichkeit erst viel später zu einer gängigen Forderung wurde. Rahmenthema war die mengen- und gütewirtschaftliche Bewirtschaftung der Wasserressourcen. Entsprechend früh und vor der Entstehung eines Umweltbewusstseins in der Gesellschaft befasste er sich z. B. mit der Grundwasserkontamination vor allem mit

der Ausbreitung von Oel im Boden. In Würdigung dieser Leistungen verlieh ihm die Hochschule für Bodenkultur Wien im Jahr 1972 die Würde eines Ehrendoktors.

Auch im Einsatz moderner Methoden und Geräte war Herbert Billib immer ein Mann der ersten Stunde. In den sechziger Jahren betrieb er eine elektroanaloge Grundwassermodellierung und gehörte dann in den frühen siebziger Jahren zu den Motoren des Einsatzes digitaler Computer in Hydrologie und Wasserwirtschaft. Nur in diesem Zusammenhang lernte ihn der Verfasser dieses Nachrufs persönlich kennen, nämlich 1974 als Gutachter im Rahmen des 2. Datenverarbeitungsförderprogramms der Bundesregierung. Denn in den fast drei Jahrzehnten nach seiner Emeritierung pflegte Herbert Billib zwar den Kontakt zu seinen Doktoranden zog sich aber aus der Hochschule ganz zurück. Es waren seine privaten vor allem historischen Interessen, die ihn fortan in Anspruch nahmen.

Spricht man heute mit seinen ehemaligen Mitarbeitern, so zeichnen sie das Bild einer großen Persönlichkeit. Stellvertretend sei hier sein Doktorand und späterer Professor Bernhard Hoffman zitiert: „Von seinen Mitarbeitern erwartete er, dass in ihnen *das heilige Feuer der Wissenschaft lodere*. Aber er war gleichzeitig aufgeschlossen für ihre Sorgen und Nöte, freute sich mit ihnen über ihre Erfolge im weiteren Leben und war allen ein väterlicher Freund und Partner. Mit diesen Eigenschaften, seiner preußischen Korrektheit und seinen wissenschaftlichen Leistungen hat er sich Respekt und Vertrauen erworben und sich um Wasserforschung und seine Universität verdient gemacht.“

Werner Zielke

KARL GERKE

*10.08.1904 † 28.06.2002

Am 28. Juni 2002 verstarb nach schwerer Krankheit der Senior unserer Gesellschaft Professor em. Dr.-Ing. Karl Gerke im 98. Lebensjahr in seiner Vaterstadt.

Karl Gerke, 1904 in Braunschweig geboren, absolvierte nach dem Besuch der mittleren Bürgerschule eine Lehre in einem Vermessungsbüro, wechselte später als Vermessungstechniker zur Forsteinrichtungsanstalt in Braunschweig und schied als Dreiundzwanzigjähriger auf eigenen Wunsch aus dem sicheren Staatsdienst aus, um Geodäsie zu studieren. Mit dem gleichen Elan, den er als jugendlicher Leistungssportler unter Beweis gestellt hatte (sein 100m-Lauf-Rekord wurde 50 Jahre lang nicht gebrochen), legte er 1928 als Extraner die Reifeprüfung ab und setzte sein schon im WS 1927/28 als a.o. Studierender in Braunschweig begonnenes Studium des Vermessungswesens fort, studierte an der TH Berlin-Charlottenburg weiter, legte bereits im Frühjahr 1931 dort die 1. Staatsprüfung für Vermessungsingenieure in Preußen ab, kehrte an unsere TH zurück und verließ mit 28 Jahren als 1. Diplomingenieur des Vermessungswesens unsere Carolus Wilhelmina, wobei er – quasi nebenbei – mehrfach deutscher Hochschulmeister im 100m-Lauf und im Zehnkampf war und je eine deutsche Meisterschaft im Weitsprung und 100m-Lauf gewonnen hatte.

Auch beruflich steigerte Karl Gerke weiterhin das Tempo: Parallel zum letzten Studienjahr in Braunschweig begann er seine Referendarzeit in Preußen, die er 1935 mit dem Assessorexamen erfolgreich abschloss, um danach erneut an unsere TH, nun als wissen-

schaftlicher Assistent, zurückzukehren bis zu seinem Wechsel 1939 zur Heeresplankammer als Regierungsbaurat und Leiter der Gruppen Triangulation und Topographie.

Nach Kriegsbeginn bewährte sich Karl Gerke zunächst als Batteriechef, ab 1942 als Major und Kommandeur der Vermessungsabteilung und Ia-Meß einer Heeresgruppe als Soldat und Geodät, so daß er Mitte 1944 beim Chef des Kriegskarten- und Vermessungswesens Leiter der Gruppen Triangulation und Kartenwesen in Personalunion wurde. Mit der amerikanischen Kriegsgefangenschaft endete für ihn eine erfolgreiche militär-geodätische Laufbahn.

Sein gesamtes Privateigentum und damit alle Unterlagen seiner fast fertiggestellten Dissertation „Über Formfehler an zylindrischen Theodolitachsen“ waren 1944 in Berlin den Flammen zum Opfer gefallen. Jedoch seine Familie hatte alle Kriegswirren heil überstanden und so begann er 1946 mit eiserner Energie seinen beruflichen Neuanfang wieder als Mitarbeiter von Prof. Harbert in Braunschweig. Mit seiner Dissertationsschrift „Das Feinnivellement von Groß-Braunschweig 1946 und Folgerungen aus dem Vergleich mit den Messungen von 1931“ wurde er am 7. Juli 1947 zum Dr.-Ing promoviert, ab 1. August in den Staatsdienst übernommen und 1951 zum Oberingenieur ernannt, nachdem ihm bereits ab WS 1948/49 Lehraufträge übertragen worden waren. 1952 wurde Dr. Gerke aufgrund seiner Habilitationsschrift „Über die Wirkung von vertikalen Erdkrustenbewegungen und Deformationen der Niveaufläche auf Nivellements hoher Genauigkeit“ zum Privatdozenten ernannt und ihm die *venia legendi* erteilt.

Nach weiteren 3 Jahren im Institut für Vermessungskunde entschloss sich Karl Gerke mit 51 Jahren – sicher nicht leichten Herzens – seine berufliche Zielsetzung noch einmal in eine andere Richtung zu lenken. Er übernahm von 1955 bis 1962 – zuletzt als Regierungsdirektor – die Leitung der Abteilung Geodäsie im Institut für Angewandte Geodäsie (IfAG) in Frankfurt/Main. In die Geschichte der Geodäsie dieser Zeit ging Karl Gerke als Leiter der letzten großen klassischen Basismessungen mit Invardrähten zur Maßstabkontrolle des Deutschen Hauptdreiecksnetzes und der internationalen Basismessung 1959 in Heerbrugg/CH ein, aber auch als einer der Ersten, die den modernen elektronischen Streckenmeßverfahren zum Durchbruch verhalfen.

Während seiner IfAG-Tätigkeit wurde er 1958 zum apl.-Prof. der TH Braunschweig ernannt und 1960 in die Deutsche Geodätische Kommission (DGK) bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften berufen. Er war damit einer der wenigen deutschen Wissenschaftler der Geodäsie, der diesem Gremium bereits als Nichtordinarius angehörte.

1962 folgte Karl Gerke einem Ruf an seine alte Alma mater in Braunschweig, nun als Ordinarius und Direktor des Instituts für Vermessungskunde, des Instituts, in dem seine akademische Laufbahn begann, das er nach dem Kriege in der Notunterkunft im Methfesselbunker wieder mit aufbaute und für das er bereits viele Jahre tätig gewesen war. Hier wirkte er noch einmal 10 Jahre äußerst aktiv als akademischer Lehrer, Wissenschaftler und Forscher, der die Geodäsie stets als Ingenieur- und Naturwissenschaft verstanden hat. Die große Bandbreite der Arbeiten seines Instituts spiegelt sich in seinen zahlreichen Veröffentlichungen sowie in den Dissertationen und Habilitationsschriften seiner Mitarbeiter wieder.

Nur ein nach wie vor aktuelles Forschungsprojekt sei hier genannt: Fasziniert von den geologischen, geophysikalischen und geodätischen Arbeiten der „Deutschen Island-Expe-

dition 1938“ gelang es Karl Gerke, ab 1964 die geodätisch-geophysikalischen Gemeinschaftsarbeiten zur Bestimmung rezenter Krustenbewegungen in Island zu reaktivieren, die Professoren Schleusener und Torge, Hannover, für die Schweremessungen und Professor Spickernagel, Leoben, für die Präzisionshöhenmessungen zu gewinnen. Die Lagemessungen führte er mit seinen Mitarbeitern unter häufig harten äußeren Bedingungen selbst aus, dabei stets hohe Anforderungen an sich und alle Beteiligten stellend. Seine Verdienste um die Geoforschung hat das Verbindungskomitee der Königlichen Schwedischen Akademie der Wissenschaften und des Schwedischen Forschungsrates 1973 durch seine Wahl zum Ehrenmitglied der Sektion „Postglaziale Bewegungen in der Geodynamik“ gewürdigt.

Auch für zahlreiche Aufgaben in der Hochschulselbstverwaltung, in nationalen und internationalen Gremien setzte sich Karl Gerke tatkräftig ein. Bereits 1964 wurde er zum Rektor der Carolo Wilhelmina gewählt – ein besonderer Beweis für die Anerkennung seiner Persönlichkeit, da die Professorenschaft auf die bislang übliche Voraussetzung, daß der Rektor Dekan gewesen sein sollte, verzichtete. Von 1966 bis 1973 war er Vorsitzender des Sportausschusses des Senats der TU und von 1971 bis 1974 des Deutschen Hochschulausschusses für Leibesübungen. 1967 wurde Karl Gerke Vorsitzender der Deutschen Geodätischen Kommission (DGK) bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, im selben Jahr Präsident der Deutschen Union für Geodäsie und Geophysik und 1971 Präsident der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft (BWG), der er seit 1965 als ordentliches Mitglied der Klasse für Bauwissenschaften angehörte.

In der Amtszeit des Rektors Gerke von 1966 bis 1968 wurde eine neue Verfassung für die zukünftige Technische Universität Carolo Wilhelmina zu Braunschweig mit einer neuen Fakultätsgliederung unter Zufügung einer Philosophischen und Sozialwissenschaftlichen Fakultät erarbeitet, in der als wesentliche Neuerung die Mitwirkung von Vertretern der wissenschaftlichen Mitarbeiter und Studenten in allen akademischen Beschlußorganen aufgenommen wurde. Daß dieses Vorhaben in der schwierigen Zeit des beginnenden Umbruchs und der ersten Unruhen an den Universitäten gelang und daß am 1. April 1968 die „Vorläufige Verfassung“ der TU in Kraft treten konnte, ist sicher in hohem Maße dem außerordentlichen Einsatz und Verhandlungsgeschick des Rektors zu verdanken.

Als Vorsitzender der DGK und als Präsident der Deutschen Union für Geodäsie und Geophysik von 1967 bis 1972 hat sich Karl Gerke ganz besonders für die Kooperation der Geodäten mit den Geowissenschaftlern anderer Disziplinen engagiert, die dann ab 1969 mit dem 1. offiziellen Rundgespräch „Geodäsie - Geophysik“ unter seiner Leitung auf nationaler und internationaler Ebene intensiviert wurde. Eine Reihe disziplinübergreifender Projekte gingen auf seine Initiative zurück.

Auch zu internen geodätischen Problemen wie „Neustrukturierung des von der DGK betriebenen Deutschen Geodätischen Forschungsinstituts (DGFI)“ und „Neugestaltung der Studieninhalte im Fach Vermessungswesen“ nahm er mit großem Sachverstand und menschlicher Klugheit dezidiert Stellung.

In der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft übernahm nach dem plötzlichen Tode des amtierenden Generalsekretärs Hermann Schäfer im Jahre 1970 Karl Gerke dieses Amt und stand ab 1971 bis 1977 der BWG als gewählter Präsident vor.

Seine Verwaltungserfahrungen aus seiner Tätigkeit im IfAG und als Rektor nutzte der neue Generalsekretär Gerke der BWG umgehend, um in intensiven und erfolgreichen Verhandlungen mit den zuständigen staatlichen Stellen den Landeszuschuss für den Verwaltungshaushalt der Gesellschaft zu erhöhen und als Sockelbetrag festzuschreiben, so daß eine gewisse Planungssicherheit ermöglicht wurde.

Als Präsident der Gesellschaft hat Karl Gerke die Verbindungen zu den klassischen Akademien gepflegt und verstärkt mit dem Endziel, die Anerkennung der BWG als wissenschaftlich-technische Akademie zu erreichen.

Die von ihm und dem Generalsekretär Karl-Heinrich Olsen 1977 aus Anlaß des 200. Geburtstages von Carl Friedrich Gauß durchgeführten feierlichen Veranstaltungen mit einem wissenschaftlichen Kongreß und der Verleihung der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille an den Mathematiker Professor Dr. Laszlo Fejes Toth, Budapest, den Geodäten o. Professor Dr. techn. Helmut Moritz, Graz, und an den Geophysiker o. Professor Dr. phil. Walter Maurice Elsasser, Baltimore, haben auch im Ausland das Ansehen der BWG gestärkt.

1979 eröffnete das Institut für Vermessungskunde und der Lehrstuhl für Photogrammetrie und Kartographie der Technischen Universität Braunschweig die „Geodätische Schriftenreihe der TU“ mit der „Festschrift zur Vollendung des 75. Lebensjahres von o. Prof. em. Dr.-Ing. Karl Gerke am 10. August 1979“. Der amtierende Präsident der BWG Professor Herbert Wilhelm beschloss seine Würdigung in „Die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft und Karl Gerke“ mit dem Satz: „Karl Gerke repräsentiert den Idealtyp eines Gelehrten in der BWG, deren Zukunft durch sein Wirken vorbereitet und mitgestaltet sein wird.“

Trotz schwerer Schicksalsschläge, beginnend mit dem plötzlichen Tod seiner verehrten Gattin wenige Wochen vor seinem 75. Geburtstag und späteren lebensbedrohenden Erkrankungen, hat sich der Emeritus Gerke mit bewundernswerter Haltung und Selbstdisziplin besonders der fachhistorischen Forschung gewidmet. Seine intensiven Studien und Recherchen wurden durch seine Einzelveröffentlichungen und durch die Herausgabe des Catalogus Professorum der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig 1986 und 1991 dokumentiert, alle in mühsamer Kleinarbeit in den verschiedensten Archiven erhobenen Fakten hat er in umfangreichen Ordnern gesammelt und, nachdem er aus gesundheitlichen Gründen die Archivarbeiten einstellen mußte, dem Hochschularchiv unserer TU überlassen, deren Archivbeirat er noch bis 1993 angehörte.

Anläßlich der Erneuerung der ihm vor 50 Jahren verliehenen Promotionsurkunde am 10. Juli 1997 konnte der Islandforscher Gerke erfreut feststellen, daß sein Wirken bleibende Spuren hinterlassen hat, daß nicht nur seine Arbeiten – nun schon in der dritten Generation – erfolgreich weitergeführt werden, sondern auch, daß für alle Geowissenschaftler hochinteressante Ergebnisse sein Engagement belohnen, denn seine Nachfolger und Mitarbeiter haben erstmalig die Riftbewegungen in der jungvulkanischen Zone Islands großräumig erfaßt und dokumentiert.

Mit Karl Gerke haben die deutsche Geodäsie, die Carolo Wilhelmina und die BWG eine herausragende Persönlichkeit verloren, die allen Schülern, Mitarbeitern und Kollegen, die ihn erleben konnten, unvergessen bleiben wird.

Dietrich Möller

Zuwahlen

Zu ordentlichen Mitgliedern wurden am 19.04.2002 gewählt

in die Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften

Bahadir, Ali Müfit, Dr.rer.nat. Dr. agr.habil. Dr.h.c., Universitätsprofessor für Ökologische Chemie und Abfallanalytik an der Technischen Universität Braunschweig, Lützenstraße 6, 38124 Braunschweig

- | | |
|------------------------------|---|
| 1947, 13.11. | geboren in Istanbul (Türkei) |
| 1955 – 1959 | Grundschule in Konya und Istanbul (Türkei) |
| 1960 – 1967 | Gymnasium in West-Berlin, Abitur |
| 1972 | Diplom in Chemie, Universität Bonn |
| 1975 | Promotion zum Dr.rer.nat., Universität Bonn |
| 1973 – 1977 | Wiss. Assistent am Institut für Anorganische Chemie, Universität Bonn |
| 1977 – 1979 | <i>post doc</i> am Institut für Ökologische Chemie, GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, München |
| 1979 – 1981 | Betriebsleiter in der Forschung (HDPE), Ruhrchemie AG, Oberhausen |
| 1981 – 1989 | Gruppenleiter und Stellvertr. Direktor, Insitut für Ökologische Chemie der GSF |
| 1988 | Habilitation zum Dr.agr.habil., TU München-Weihenstephan |
| 1989 | Berufung an die Technische Universität Braunschweig zur Gründung des Instituts für Ökologische Chemie und Abfallanalytik |
| Publikationen: | zahlreiche; auch als (Mit-)Verfasser und (Mit-)Herausgeber wiss. Monographien, Lehrbücher und Reihen |
| Mitgliedschaften: | Gesellschaft Deutscher Chemiker, Fachgruppe für Umweltchemie und Ökotoxikologie, Vorsitzender des AG Lehre und Forschung, Mediterranean Scientific Association of Environmental Protection, President, sowie Mitgliedschaften in mehreren Beratungskommissionen |
| Ehrungen und Auszeichnungen: | 1997: Ernennung zum Dr. h.c., Selcuk Universität Konya, Türkei
2001: Ehrenplakette der Mediterranean Scientific Association of Environmental Protection |

Ertmer, Wolfgang, Dr.rer.nat., Universitätsprofessor für Experimentalphysik an der Universität Hannover, Granatstraße 24, 30823 Garbsen

- | | |
|--------------|--|
| 1949, 13.02. | geboren in Bonn |
| 1968 | Abitur, Ernst-Moritz-Arndt-Gymnasium, Bonn |
| 1975 | Diplom in Physik |
| 1978 | Promotion, Universität Bonn |

1981 – 1985	Wiss. Assistent, Universität Bonn
1982 – 1983	Forschungsaufenthalt am Joint Institute for Laboratory Astrophysics, Boulder, Colorado, als Stipendiat der DFG
1984	Forschungsaufenthalt am Joint Institute für Laboratory Astrophysics, Boulder, Colorado
1985	Habilitation, Universität Bonn
1985 – 1990	Professur auf Zeit für Experimentalphysik an der Universität Bonn
1990	Vertretung einer Professur an der Universität Bonn
1990 – 1994	Professur für Angewandte Physik an der Universität Bonn
seit 1994	Professur für Experimentalphysik an der Universität Hannover
Publikationen:	zahlreiche
Mitgliedschaften:	Deutsche Physikalische Gesellschaft, European Physical Society, Board of Quantum Electronics and Optics Division der EPS
Ehrungen und Auszeichnungen:	1986: Röntgenpreis der Justus-Liebig-Universität Gießen 1996: Förderpreis im Gottfried Wilhelm Leibniz-Programm der DFG

Schätzl, Ludwig, Dr.oec.publ., Universitätsprofessor für Wirtschaftsgeographie und Präsident der Universität Hannover, Im Eichholz 49, 30657 Hannover

1938, 17.01.	geboren in Ruhpolding
1958	Abitur, München
1964	Dipl.-Kfm., Universität München
1964 – 1968	Wiss. Assistent, Institut für Wirtschaftsgeographie, Universität München
1968 – 1971	Senior Research Fellow, Nigerian Institute of Social and Economic Research, Ibadan
1971 – 1973	Habilitationsstipendium der Deutschen Forschungsgemeinschaft
1973	Habilitation im Fach Geographie, Universität Gießen
1974 – 1978	Professur für Anthropogeographie, Freie Universität Berlin
seit 1978	Professur für Wirtschaftsgeographie, Universität Hannover
seit 1997	Präsident der Universität Hannover
Publikationen:	zahlreiche, Verfasser und Herausgeber mehrerer wiss. Monographien und Lehrbücher
Mitgliedschaften:	Academia Europea, London Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesminister für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, Bonn/Berlin

in die Klasse für Geisteswissenschaften

Stauf, Renate, Dr.phil.habil., Universitätsprofessorin für neuere deutsche Literatur an der Technischen Universität Braunschweig, Kasernenstraße 23, 38102 Braunschweig

1949, 23.03.	geboren in Groß-Eichen
1955 – 1963	Volksschule Groß-Eichen
1974 – 1978	Abendgymnasium Gießen
1978 – 1983	Studium der Germanistik, Geschichte, Pädagogischen Psychologie an der Justus-Liebig-Universität Gießen
1983	Erste Staatsprüfung für das Lehramt an Gymnasien
1984 – 1986	Promotionsstipendium der Studienstiftung des deutschen Volkes
1987 – 1989	Wiss. Mitarbeiterin am Institut für neuere deutsche Literatur der Justus-Liebig-Universität Gießen
1989	Promotion
1989 – 1995	Wiss. Assistentin am Institut für deutsche Philologie, Allgemeine und Vergleichende Literaturwissenschaft der Technischen Universität Berlin
1996	Habilitation
1996 – 1999	Privatdozentin an der Technischen Universität Berlin
seit 1999	Professorin für neuere deutsche Literatur an der Technischen Universität Braunschweig
Publikationen:	neben einer Reihe von wiss. Aufsätzen zwei Monographien über Heinrich Heine und Justus Möser
Mitgliedschaften:	Beirätin der Justus-Möser-Gesellschaft, Osnabrück, Mitglied der Lessing-Akademie, Wolfenbüttel
Ehrungen und Auszeichnungen:	Preis der Justus-Liebig-Universität Gießen für die beste Dissertation des akademischen Jahres im Fachbereich Germanistik

Zum korrespondierenden Mitglied wurde am 19. April 2002 gewählt

in die Klasse für Ingenieurwissenschaften

Kreuzer, Edwin Jakob, Dr.-Ing.habil., Universitätsprofessor für Mechanik und Meerestechnik der Technischen Universität Hamburg-Harburg, Ehestorfer Weg 150 g, 21075 Hamburg

1947, 06.06.	geboren in Ziemetshausen
1953 – 1961	Volksschule in Ziemetshausen
1961 – 1965	Lehre zum Werkzeugmacher bei Siemens und Halske in Augsburg
1965 – 1966	Detailkonstrukteur bei Siemens und Halske in Augsburg

1966 – 1967	Fachhochschulreife, Rudolf-Diesel-Polytechnikum der Stadt Augsburg
1967 – 1971	Studium am Rudolf-Diesel-Polytechnikum der Stadt Augsburg; Abschluss als Ingenieur (grad.) im Fach Maschinenbau
1971	Konstrukteur bei Siemens und Halske in Augsburg
1971 – 1976	Studium des Maschinenbaus an der Technischen Universität München
1976 – 1977	Wiss. Mitarbeiter am Lehrstuhl B für Mechanik, Technische Universität München
1977 – 1980	Wiss. Mitarbeiter am Institut B für Mechanik, Universität Stuttgart
1979	Promotion zum Dr.-Ing. an der Universität Stuttgart
1981 – 1986	Hochschulassistent an der Universität Stuttgart
1981 – 1982	Gastwissenschaftler an der University of California, Berkeley, USA
1986	Habilitation für Mechanik an der Universität Stuttgart
1986 – 1988	Professur für Nichtlineare Dynamik an der Universität Stuttgart
1988 – 1993	Professur für Strukturmechanik an der Technischen Universität Hamburg-Harburg
seit 1993	Professur für Strukturmechanik an der Technischen Universität Hamburg-Harburg
Publikationen:	zahlreiche; Verfasser und (Mit-)Herausgeber mehrerer wiss. Monographien; Chefredakteur der Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik
Mitgliedschaften:	Joachim Jungius-Gesellschaft der Wissenschaften, Hamburg Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik (GAMM) American Mathematical Society European Mechanics Society European Community on Computational Methods in Applied Sciences Mitgliedschaften in mehreren Beratungskommissionen
Ehrungen und Auszeichnungen:	1988: Gastprofessur an der Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasilien 1992: Ruf auf eine Professur an die Universität – Gesamthochschule Essen 1996: Gastprofessur (Russel Severance Springer Professor) an der University of California, Berkeley, USA

Zum korrespondierenden Mitglied wurde am 13.12.2002 gewählt

in die Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften

Krätschmer, Wolfgang, Dr.rer.nat., Professor für Kern- und Astrophysik am Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg und Honorarprofessor der Universität Heidelberg, Pfarrgasse 17 a, 69251 Gaiberg

- 1942, 16.11. geboren in Berlin
- 1961 Abitur am Rheingau-Gymnasium, Berlin
- 1961 – 1969 Studium der Physik an der TU Berlin
Diplom
- 1969 – 1971 Promotion Dr.rer.nat., Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg
- 1971 Promotion, Universität Heidelberg
- 1971 – 1976 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg,
Arbeiten über kosmische Strahlung
- ab 1977 Arbeiten über interstellaren Staub, insbesondere ab 1982
Spektroskopie von Kohlenstoffmolekülen und Clustern
- 1977 – 1978 Aufenthalt im Labor von Donald R. Huffman, University of Arizona, Tuscon, sowie Roger F. Knacke, State University of New York, Stony Brook
- seit 1979 Arbeiten über C60 und Fullerene
- seit 1983 Co-Investigator bei der Entwicklung eines erdumkreisenden Infrarot-Photo-Spektrometers (ISO) der ESA
- 1993 Honorarprofessor an der Universität Heidelberg
- Publikationen: ca. 150 Veröffentlichungen; u.a. Von Fuller zu Fullerenen. Hrsg. Wolfgang Krätschmer und Heike Schuster. Vieweg-Verlag. Braunschweig. 1996
- Mitgliedschaften: Deutsche Physikalische Gesellschaft, Royal Society of Chemistry
- Ehrungen und Auszeichnungen: 1992: Stern-Gerlach-Preis für Physik
- 1993: Leibniz-Preis der DFG / Materials Research Society Medal Award
- 1994: Hewlett Packard Europhysics Prize / SGL CARBON Förderpreis
- 1997: Bonner Chemiepreis
- 2002: Carl FriedrichGauß-Medaille

Inhaber der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille 1949-2002

- 1949 *Walter Reppe* †, Dr. phil., Dr. phil. nat. h.c., Dr.-Ing. E.h., Honorarprofessor der Universität Mainz und der Technischen Hochschule Darmstadt.
- 1950 *Arvid Hedvall* †, fil. dr., Dr. phil. h.c., Dr.-Eng. h.c., Dr. Techn. h.c., em. o. Professor für Silikatchemie der Technischen Hochschule Göteborg/Schweden.
- 1951 *Wilhelm Nusselt* †, Dr.-Ing. E.h., em. o. Professor für Theoretische Maschinenlehre an der Technischen Hochschule München.
- 1952 *Erwin W. Müller* †, Dr.-Ing. habil., Dr. rer. nat. h.c., Dr. h.c., Evan-Pugh Res., Professor an der Pennsylvania State University, University Park, Penn./USA.
- 1953 *Gustav Wolf* †, Dr.-Ing. E.h., Professor in Münster.
- 1954 *Max Strutt* †, Dr. techn., Dr.-Ing. E.h., o. Professor für Höhere Elektrotechnik an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich/Schweiz.
- 1955 *Fritz Arndt* †, Dr. phil., Dr. rer. nat. h.c., Dr. h.c., em. o. Professor für Organische Chemie an der Universität Breslau, Honorarprofessor an der Universität Hamburg.
- 1955 *Pascual Jordan* †, Dr. phil., em. o. Professor für Theoretische Physik an der Universität Hamburg.
- 1956 *Ulrich Finsterwalder* †, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., München.
- 1957 *Georg Sachs* †, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., o. Professor für Metallurgie an der Syracuse University, Syracuse, N. Y./USA.
- 1958 *Werner Schmeidler* †, Dr. phil., Dr.-Ing. E.h., em. o. Professor für Mathematik an der Technischen Universität Berlin.
- 1959 *Hans Brockmann* †, Dr. sc. nat. habil., Dr. rer. nat. h.c., em. o. Professor für Organische Chemie an der Universität Göttingen.
- 1960 *Theodor von Karman* †, Dr. phil., Dr.-Ing. E.h., Dr. rer. nat. h.c. mult., LL.D., Professor am California Institute of Technology, Pasadena, Calif./USA.
- 1961 *Kurt Paul Klöppel* †, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., o. Professor für Statik und Stahlbau an der Technischen Hochschule Darmstadt.
- 1962 *Walter Schottky* †, Dr. phil., Dr.-Ing. E.h., Dr. rer. nat. h.c., Dr. techn. h.c., em. o. Professor für Theoretische Physik an der Universität Erlangen.
- 1963 *Gottfried Köthe* †, Dr. phil., Dr. h.c., Dr. rer. nat. h.c. mult., em. o. Professor für Angewandte Mathematik an der Universität Heidelberg.

- 1964 *Carl Wagner* †, Dr.phil., Dr.rer.nat.h.c., Dr.-Ing.E.h., Professor und vormalig Direktor des Max-Planck-Instituts für Physikalische Chemie in Göttingen.
- 1965 *Albert Betz* †, Dr.phil., Dr.-Ing.E.h., Dr.sc.techn.h.c., Professor und vormalig Direktor der Aerodynamischen Versuchsanstalt und des Max-Planck-Instituts für Strömungsforschung in Göttingen.
- 1966 *Wilhelm Becker* †, Dr.phil., Dr.h.c., em. o. Professor und Direktor der Astronomisch-Meteorologischen Anstalt der Universität Basel/Schweiz.
- 1967 *Henry Görtler* †, Dr.phil.habil., LL.D.h.c., em. o. Professor für Mathematik und vormalig Direktor des Instituts für Angewandte Mathematik der Universität Freiburg i. Br..
- 1968 *Egon Orowan* †, Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., o. Professor für Mechanical Engineering am Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass./USA.
- 1969 *E. Arne Bjerhammer*, tekn. dr., Professor für Geodäsie an der Kungl. Tekniska Högskolan in Stockholm/Schweden.
- 1970 *Elie Carafoli* †, Dr.rer.nat., Professor für Aero-Gas-Dynamik am Polytechnischen Institut Bukarest und vormalig Direktor des Institut de Mécanique des Fluides „Traian Vuia“ in Bukarest/Rumänien.
- 1971 *Walter Dieminger* †, Dr.rer.techn., apl. Professor für Geophysik an der Universität Göttingen und vormalig Direktor des Max-Planck-Instituts für Aeronomie in Lindau/Harz.
- 1972 *Hubert Rüsch* †, Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., em. o. Professor für Massivbau an der Technischen Hochschule München und vormalig Direktor des Amtlichen Materialprüfungsamtes für das Bauwesen.
- 1973 *Viktor Gutmann* †, Dr.techn., Ph.D., Sc.D., Dr.rer.nat.h.c., Dr.Sc.h.c., em. o. Professor für Anorganische Chemie an der Technischen Universität Wien/Österreich.
- 1974 *Friedrich Tamms* †, Dr.h.c., Professor, Beigeordneter der Stadt Düsseldorf (Stadtbaurat i.R.), Freischaffender Planer.
- 1975 *Sir Michael James Lighthill* †, FRS, FRAeS, Hon.D.Sc.mult., Professor für Mathematik an der University of Cambridge/Großbritannien.
- 1977 *Walter Maurice Elsasser* †, Dr.phil., o. Professor für Geophysik an der Johns Hopkins University, Baltimor, Maryland/USA.
- 1977 *Helmut Moritz*, Dr.techn., Dr.-Ing.E.h., o. Professor für Geodäsie an der Technischen Universität Graz/Österreich.
- 1977 *László Fejes Tóth*, Dr., Professor und Direktor des Mathematischen Forschungsinstituts der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Budapest/Ungarn.

- 1978 *Ulrich Grigull*, Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., em. o. Professor für Thermodynamik an der Technischen Universität München.
- 1979 *Wolf Freiherr von Engelhardt*, Dr.phil., em. o. Professor für Mineralogie und Petrographie an der Universität Tübingen.
- 1980 *Hans Kuhn*, Dr.phil., Dr.rer.nat.h.c., Professor und vormals Direktor am Max-Planck-Institut für Biophysikalische Chemie in Göttingen.
- 1981 *Martin Kneser*, Dr.rer.nat., o. Professor für Mathematik an der Universität Göttingen.
- 1982 *Walter Burkert*, Dr.phil., o. Professor für Klassische Philologie an der Universität Zürich/Schweiz.
- 1983 *Leopold Müller* †, Dr.techn., Dr.mont.h.c., Honorarprofessor für Felsmechanik an der Universität Salzburg/Österreich.
- 1984 *Heinz Beneking* †, Dr.rer.nat., o. Professor und Direktor des Instituts für Halbleitertechnik an der RWTH, Aachen.
- 1985 *Gerhard Ertl*, Dr.rer.nat., Dr.h.c., Professor und Direktor am Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft in Berlin.
- 1986 *Arno Borst*, Dr.phil., o. Professor für Mittelalterliche Geschichte an der Universität Konstanz.
- 1987 *Olgierd Cecil Zienkiewicz*, FRS, Ph.D., D.Sc., Hon.D.Sc.mult., Professor of Civil Engineering an der University of Wales/Swansea/Großbritannien.
- 1988 *Heinz Brauer*, Dr.-Ing., Professor für Chemische Ingenieurtechnik an der Technischen Universität Berlin.
- 1989 *Herbert Walther*, Dr.rer.nat., Professor für Experimentalphysik an der Universität München und Direktor des Max-Planck-Instituts für Quantenoptik in Garching.
- 1990 *Raymond Klibansky*, Dr.phil., Dr.phil.h.c., Professor der Philosophie (Logik und Metaphysik) an der McGill University in Montreal/Kanada und Fellow des Wolfson College Oxford.
- 1991 *Wilfried B. Krätzig*, Dr.-Ing. Dr.-Ing.E.h., Professor für Ingenieurmechanik an der Ruhr-Universität Bochum.
- 1992 *Ernst-Dieter Gilles*, Dr.-Ing., Professor für Meß- und Regelungstechnik an der Universität Stuttgart.
- 1993 *Hans-Heinrich Voigt*, Dr.rer.nat., em. o. Professor für Astronomie und Astrophysik an der Universität Göttingen.
- 1994 *Josef Fleckenstein*, Dr.phil., em. o. Professor für Mittelalterliche Geschichte, zuvor Direktor des Max-Planck-Instituts für Geschichte in Göttingen.

- 1995 *David G. Crighton* †, FRS, Head of Department of Applied Mathematics and Theoretical Physics, University of Cambridge/Großbritannien.
- 1996 *Gerhard Frey*, Dr.rer.nat., Dr.h.c., Professor für Mathematik an der Universität Essen.
- 1997 *Arnold Esch*, Dr.phil., Professor für Mittelalterliche Geschichte, Direktor des Deutschen Historischen Instituts in Rom/Italien.
- 1998 *Christian Menn*, Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., em. Professor für Konstruktiven Ingenieurbau an der ETH Zürich/Schweiz.
- 1999 *Christian Wandrey*, Dr.rer.nat., Professor für Biotechnologie, Universität Bonn, Direktor des Instituts für Biotechnologie des Forschungszentrums Jülich.
- 2000 *Klaus J. Hopt*, Dr.jur. Dr.phil. Dres.h.c., Professor für ausländisches und internationales Privatrecht, Universität Hamburg, Direktor des Max-Planck-Instituts für ausländisches und internationales Privatrecht, Hamburg.
- 2001 *Robert Piloty*, Dr.-Ing., Professor em. für Datentechnik an der Technischen Universität Darmstadt.
- 2002 *Wolfgang Krätschmer*, Dr.rer.nat., Professor für Kern- und Astrophysik am Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg

MITGLIEDERVERZEICHNIS (Stand: 31.12.2002)

Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft

Fallersleber-Tor-Wall 16, 38100 Braunschweig
 Telefon: (0531) 1 44 66 . Telefax: (0531) 1 44 60
 E-Mail: Poststelle@bwg.niedersachsen.de,
 Homepage: <http://www.bwg-niedersachsen.de>

Präsident: Prof. Dr.rer.nat. Joachim Klein
 (bis 31.12.2004)

Generalsekretär: Prof. Dr.med. Dr.phil. Claus-Artur Scheier
 (bis 31.12.2003)

Geschäftsstelle: Frau Hannelore Haubold (Büroleiterin)
 Frau Gabriele Petersen

Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften

Vorsitzender: Prof. Dr.phil.nat. Joachim Heidberg (bis 31.12.2003)

Ordentliche Mitglieder:

Bahadir, Müfit (13.11.1947), Dr.rer.nat. Dr.agr.habil. Dr.h.c., Prof. (Ökologische Chemie und Abfallanalytik, TU Braunschweig), Lützenstraße 6, 38124 Braunschweig

Brandes, Dietmar (12.3.1948), Dr.rer.nat. habil., Prof. u. Dir. (Botanik, Universitätsbibliothek, TU Braunschweig), Allerstraße 7, 38106 Braunschweig

Braß, Helmut (22.2.1936), Dr.rer.nat., Prof. (Angewandte Mathematik, TU Braunschweig), Hilsstraße 26, 38122 Braunschweig

Cramer, Friedrich (20.9.1923), Dr.rer.nat., Prof. u. Dir. (Organische Chemie, MPI für Experimentelle Medizin, Göttingen), Hermann-Rein-Straße 3 F, 37075 Göttingen

Deutsch, Werner (4.8.1947), Dr.rer.nat., Prof. (Psychologie, TU Braunschweig), Steintorwall 12, 38100 Braunschweig

Ehrich, Hans-Dieter (2.2.1943), Dr.rer.nat., Prof. (Informatik, TU Braunschweig), Mannheimstraße 66, 38112 Braunschweig

Ertmer, Wolfgang (13.2.1949), Dr.rer.nat., Prof. (Experimentalphysik, Universität Hannover), Granatstraße 24, 30823 Garbsen

Glaßmeier, Karl-Heinz (28.4.1954), Dr.rer.nat., Prof. (Geophysik, TU Braunschweig), Friedrich-Löffler-Weg 13, 38116 Braunschweig

Göbel, Ernst Otto (24.3.1946), Dr.rer.nat., Prof. u. Präs. (Experimentalphysik, PTB Braunschweig), Oscar-Fehr-Weg 16, 38116 Braunschweig

- Görlitzer, Klaus (29.7.1940), Dr.rer.nat., Prof. (Pharmazeutische Chemie, TU Braunschweig), Waterloostraße 15, 38106 Braunschweig
- Harborth, Heiko (11.2.1938), Dr.rer.nat., Prof. (Mathematik, TU Braunschweig), Bienroder Weg 47, 38106 Braunschweig
- Hartmann, Thomas (2.2.1937), Dr.rer.nat., Prof. (Pharmazeutische Biologie, TU Braunschweig), Walter-Hans-Schultze-Straße 21, 38116 Braunschweig
- Heidberg, Joachim (30.1.1933), Dr.phil.nat., Prof. (Physikalische Chemie, Universität Hannover), Zuckmayerstraße 9, 30453 Hannover
- Henzler, Martin (18.5.1935), Dr.rer.nat., Prof. (Festkörperphysik, Universität Hannover), Finkenweg 6, 38826 Garbsen OT Schloss Ricklingen
- Hopf, Henning (13.12.1940), Dr.phil., Prof. (Organische Chemie, TU Braunschweig), Steinbrecherstraße 9, 38106 Braunschweig
- Hövermann, Jürgen (15.3.1922), Dr.rer.nat., Prof.em. (Geographie, Universität Göttingen), Nelkenweg 10, 37154 Northeim
- Hulek, Klaus (19.8.1952), Dr.rer.nat.habil., Prof. (Mathematik, Universität Hannover), Peiner Weg 17, 31303 Burgdorf
- Jockusch, Brigitte M. (27.9.1939), Dr.rer.nat., Prof. (Zoologie, TU Braunschweig), Wendenstraße 28/29, 38100 Braunschweig
- Kanold, Hans-Joachim (29.7.1914), Dr.rer.nat.habil., Prof.em. (Mathematik, TU Braunschweig), Güldenstraße 41, 38100 Braunschweig
- Klein, Joachim (20.8.1935), Dr.rer.nat., Prof. (Makromolekulare Chemie, TU Braunschweig), Hühnerkamp 21, 38104 Braunschweig
- Kowalsky, Hans-Joachim (16.7.1921), Dr.rer.nat., Prof.em. (Mathematik, TU Braunschweig), Am Schiefen Berg 20, 38302 Wolfenbüttel
- Litterst, Fred Jochen (9.12.1945), Dr.rer.nat.habil., Prof. u. Univ.-Präs. (Experimentalphysik, TU Braunschweig), Nordendorfweg 4 a, 38110 Braunschweig
- Maaß, Günter (7.1.1934), Dr.rer.nat., Prof. u. Dir. (Biophysikalische Chemie, GBF Braunschweig), Im Eichholz 27, 30657 Hannover
- Meijere, Armin de (18.5.1939), Dr.rer.nat., Prof. (Chemie, Universität Göttingen), Brombeerweg 13, 37077 Göttingen
- Müller, Georg (1.10.1930), Dr.rer.nat., Dr.rer.nat.h.c., Prof.em. (Mineralogie und Petrographie, TU Clausthal), Einersberger Blick 27, 38678 Clausthal-Zellerfeld
- Müller-Goymann, Christel Charlotte (5.12.1951), Dr.rer.nat., Prof. (Pharmazeutische Technologie, TU Braunschweig), Am Rübenberg 16, 38104 Braunschweig
- Richter, Egon (24.3.1928), Dr.rer.nat., Prof.em. (Theoretische Physik, TU Braunschweig), Sommerlust 33, 38118 Braunschweig
- Richter, Otto (3.8.1946), Dr.rer.nat.habil., Prof. (Agrarökologie, TU Braunschweig), Kreuzwinkel 22, 38527 Meine-Abbesbüttel

- Rieger, Georg Johann (16.8.1931), Dr.rer.nat., Prof. (Mathematik, Universität Hannover), Rosenstraße 2, 31311 Uetze
- Röhrs, Manfred (22.9.1927), Dr.rer.nat., Prof. (Zoologie, Tierärztliche Hochschule Hannover), Im Dorffeld 43, 30966 Hemmingen
- Schätzl, Ludwig (17.1.1938), Dr.oec.publ., Prof. und Präsident (Wirtschaftsgeographie, Universität Hannover), Im Eichholz 49, 30657 Hannover
- Schaumann, Ernst (16.9.1943), Dr.rer.nat., Prof. u. Rektor (Organische Chemie, TU Clausthal), An der Trift 4 a, 38678 Clausthal-Zellerfeld
- Scheper, Thomas (29.3.1956), Dr.rer.nat., Prof. (Technische Chemie, Universität Hannover), Lange-Hop Straße 47 B, 30559 Hannover
- Schügerl, Karl (22.6.1927), Dr.rer.nat., Dr.h.c., Prof.em. (Technische Chemie, Universität Hannover), Arnumer Kirchstraße 31, 30966 Hemmingen
- Schwink, Christoph (20.3.1928), Dr.rer.nat., Prof.em. (Physik, TU Braunschweig), Spitzwegstraße 21, 38106 Braunschweig
- Stahl, Wolfgang (17.8.1935), Dr.rer.nat., Prof. u. Dir. (Isotopengeochemie und -geophysik, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover), Hermann-Löns-Weg 14, 30938 Burgwedel
- Steudel, Andreas (17.2.1925), Dr.rer.nat., Prof. (Physik, Universität Hannover), Hahnensteg 41 C, 30549 Hannover
- Tietz, Horst (11.3.1921), Dr.phil, Prof.em. (Mathematik, Universität Hannover), Eilenriede-Stift, Haus G, App. 104, Mündener Weg 48, 30625 Hannover
- Vollmar, Roland (1.11.1939), Dr.-Ing., Prof. (Informatik, Universität Karlsruhe), Wendtstraße 10, 76185 Karlsruhe
- Wannagat, Ulrich (31.5.1923), Dr.rer.nat., Dr.techn.h.c., Prof.em. (Anorganische Chemie, TU Braunschweig), Waldweg 12, 38302 Wolfenbüttel
- Weinert, Hans Joachim (26.1.1927), Dr.phil. et rer.nat.habil., Prof. (Mathematik, TU Clausthal), Glückaufweg 6, 38678 Clausthal-Zellerfeld
- Welling, Herbert (1.9.1929), Dr.rer.nat., Prof. (Physik, Universität Hannover), Nogatweg 13, 30916 Isernhagen
- Werner, Reinhard F. (26.3.1954), Dr.rer.nat., Prof. (Theoretische Physik, TU Braunschweig), Gerhart-Hauptmann-Straße 1, 38304 Wolfenbüttel
- Willerding, Ulrich (8.7.1932), Dr.rer.nat., apl. Prof. (Botanik, Universität Göttingen), Calsowstraße 60, 37085 Göttingen
- Winterfeldt, Ekkehard (13.5.1932), Dr.rer.nat., Dr.h.c., Prof. (Organische Chemie, Universität Hannover), Sieversdamm 34, 30916 Isernhagen
- Zinner, Gerwalt (30.9.1924), Dr.phil., Prof.em. (Pharmazeutische Chemie, TU Braunschweig), Am Papenholz 14, 38104 Braunschweig

Korrespondierende Mitglieder:

Bürger, Hans, Dr.rer.nat., Prof. (Anorganische Chemie, Bergische Universität Wuppertal), Kruppstraße 230, 42113 Wuppertal

Engelhardt, Wolf Freiherr von, Dr.phil., Prof.em. (Mineralogie und Petrographie, Universität Tübingen), Wilhelmstraße 56, 72074 Tübingen

Ertl, Gerhard, Dr.rer.nat., Dr.h.c., Prof. u. Dir. (Physikalische Chemie, Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft), Garystraße 18, 14195 Berlin

Fejes Tóth, László, Dr., Prof. (Mathematik, Hungarian Academy of Sciences), Reáltanoda U. 13 - 15, H-1053 Budapest/Ungarn

Haken, Hermann, Dr.rer.nat., Dr.h.c.mult., Prof. (Theoretische Physik, Universität Stuttgart), Sandgrubenstraße 1, 71063 Sindelfingen

Keßler, Franz Rudolf, Dr.phil., Prof.em. (Physik, TU Braunschweig), Am Krausberg 12, 52351 Düren

Kippenhahn, Rudolf, Dr.rer.nat., Prof. u. Dir. (Astrophysik, MPI für Physik und Astrophysik), Rautenbreite 2, 37077 Göttingen

Kneser, Martin, Dr.rer.nat., Prof. (Mathematik, Universität Göttingen), Guldenhagen 5, 37085 Göttingen

Krätschmer, Wolfgang, Dr.rer.nat. (Kern- und Astrophysik, MPI für Kernphysik, Heidelberg und Universität Heidelberg), Pfarrgasse 17 a, 69251 Gaiberg

Kuhn, Hans, Dr.phil., Dr.rer.nat.h.c.mult., Prof. u. Dir. i. R. (Biophysikalische Chemie, MPI Göttingen), Ringoldswilstraße 50, CH-33656 Tschingel ob Gunten/Schweiz

Mensching, Horst, Dr.rer.nat., Prof.em. (Geographie, Universität Hamburg), Pulverhofsweg 46, 22159 Hamburg

Meschede, Dieter, Dr.rer.nat., Prof. (Angewandte Physik, Universität Bonn), Wegeler Straße 8, 53115 Bonn

Schaller, Friedrich, Dr.rer.nat., Prof. (Zoologie, Universität Wien), Regenweg 1/14/3, A-1170 Wien/Österreich

Schwab, Klaus, Dr.rer.nat., Prof. (Geologie und Paläontologie, TU Clausthal), Berliner Straße 119, 38678 Clausthal-Zellerfeld

Scriba, Christoph J., Dr.rer.nat., Prof. (Geschichte der Naturwissenschaften, Universität Hamburg), Bellevue 23, 22301 Hamburg

Voigt, Hans-Heinrich, Dr.rer.nat., Prof.em. (Astronomie und Astrophysik, Universität Göttingen), Charlottenburger Straße 19, 37085 Göttingen

Voronkov, Michael Gregor, Dr.rer.nat., Dr.h.c., Prof. u. Dir. (Chemie, A.E. Favorsky Irkutsk Institute of Chemistry), 1 Favorsky Street, GUS-664033 Irkutsk

Wandrey, Christian, Dr.rer.nat., Prof. u. Dir. (Biotechnologie, Forschungszentrum Jülich GmbH, Institut 2), Wolfshovener Straße 139, 52428 Jülich

Witting, Hermann, Dr.rer.nat.habil., Dr.rer.nat.h.c., Prof. (Mathematik, Universität Freiburg), Anemonenweg 3, 79107 Freiburg

Klasse für Ingenieurwissenschaften

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Manfred Lindmayer (bis 31.12.2005)

Ordentliche Mitglieder:

Batel, Wilhelm (3.11.1922), Dr.-Ing., Prof. u. Dir. (Verfahrenstechnik, FAL Braunschweig), Peter-Joseph-Krahe-Straße 8, 38102 Braunschweig

Beck, Hans-Peter (27.11.1947), Dr.-Ing., Prof. (Grundlagen der Elektrotechnik und Elektrische Energietechnik, TU Clausthal), Obere Trift 14, 38640 Goslar

Bohnet, Matthias (20.7.1933), Dr.-Ing., Prof. (Verfahrens- und Kerntechnik, TU Braunschweig), Otto-Hahn-Straße 45, 38116 Braunschweig

Buchwald, Konrad (16.2.1914), Dr.phil.nat.habil., Prof.em. (Landespflege, Universität Hannover), Große Heide 33, 30657 Hannover

Dizioglu, Bekir (13.12.1920), Dr.-Ing., Prof.em. (Getriebelehre und Maschinendynamik, TU Braunschweig), App. 512/514, Säntis, Eichhornstraße 56, 78464 Konstanz

Duddeck, Heinz (14.5.1928), Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Prof. (Statik, TU Braunschweig), Greifswaldstraße 38, 38124 Braunschweig

Ernst, Rolf (23.8.1955), Dr.-Ing., Prof. (Datentechnik und Kommunikationsnetze, TU Braunschweig), Ellernbruch 12 b, 38112 Braunschweig

Eßlinger, Maria (4.3.1913), Dr.-Ing., apl. Prof. (Statik, DLR Braunschweig), Bussardweg 2, 38108 Braunschweig

Groth, Klaus (8.12.1923), Dr.-Ing., Prof.em. (Kolbenmaschinen, Universität Hannover), Schafrift 18, 30952 Ronnenberg

Haeßner, Frank (6.1.1927), Dr.rer.nat., Prof.em. (Werkstoffkunde und Herstellungsverfahren, TU Braunschweig), Julius-Leber-Straße 46, 38116 Braunschweig

Heipke, Christian (5.4.1961), Dr.-Ing.habil., Prof. (Photogrammetrie und Fernerkundung, Universität Hannover), Sudetenstraße 16, 30559 Hannover

Henn, Walter (20.12.1912), Dr.-Ing., Dr.techn.h.c., Dr.-Ing.E.h., Prof.em. (Baukonstruktionen und Industriebau, TU Braunschweig), Ramsachleite 13, 82418 Murnau

Herrenberger, Justus (27.5.1920), Dr.-Ing., Prof.em. (Baukonstruktionen, TU Braunschweig), Ginsterweg 22, 38126 Braunschweig

Jeschar, Rudolf (17.6.1930), Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Prof. (Energieverfahrenstechnik, TU Clausthal), Roseneck 1, 38640 Goslar

Kind, Dieter (5.10.1929), Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Honorarprof. u. Präs. i.R. (Hochspannungstechnik, TU Braunschweig und PTB Braunschweig), Knappstraße 4, 38116 Braunschweig

- Konecny, Gottfried (17.6.1930), Dr.-Ing., Dr.h.c.mult., Prof. (Photogrammetrie und Ingenieurvermessungen, Universität Hannover), Wartheweg 22, 30559 Hannover
- Kordina, Karl (7.8.1919), Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Prof.em. (Stahlbeton- und Massivbau, TU Braunschweig), Im Heidekamp 13, 38112 Braunschweig
- Kose, Volkmar (30.3.1936), Dr.rer.nat., Honorarprof. (Präzisionsmeßtechnik, TU Braunschweig, PTB Braunschweig), Nernstweg 9, 38116 Braunschweig
- Kowalsky, Wolfgang (23.3.1958), Dr.-Ing.habil., Prof. (Hochfrequenztechnik, TU Braunschweig), Dorothea-Erxleben-Straße 41 b, 38116 Braunschweig
- Lautz, Günter (15.11.1923), Dr.rer.nat., Prof.em. (Elektrophysik, TU Braunschweig), Fallsteinweg 97, 38302 Wolfenbüttel
- Leilich, Hans-Otto (28.11.1925), Dr.-Ing., Prof.em. (Datenverarbeitungsanlagen, TU Braunschweig), Am Schiefen Berg 61 a, 38302 Wolfenbüttel
- Leonhard, Werner (25.5.1926), Dr.-Ing., Dr.h.c., Prof.em. (Regelungstechnik, TU Braunschweig), Am Schiefen Berg 54, 38302 Wolfenbüttel
- Lindmayer, Manfred (4.10.1941), Dr.-Ing., Prof. (Elektrische Energieanlagen, TU Braunschweig), Am Papenholz 15, 38104 Braunschweig
- Mahrenholtz, Oskar (17.5.1931), Dr.-Ing., Prof.em. (Mechanik, TU Hamburg-Harburg), Hermann-Löns-Weg 17 f, 21220 Seevetal
- Marx, Claus (21.8.1931), Dr.-Ing., Dr.h.c., Prof. (Tiefbohrkunde und Erdölgewinnung, TU Clausthal), Am Stollen 18, 38640 Goslar
- Matthies, Hans Jürgen (6.11.1921), Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Prof.em. (Landmaschinen, TU Braunschweig), Wöhlerstraße 15, 38116 Braunschweig
- Mecke, Wilhelm (12.8.1907), Dr.-Ing., Prof.em. (Straßenwesen und Erdbau, TU Braunschweig), Pascheburgring 8, 37154 Northeim
- Merker, Günter Peter (9.4.1942), Dr.-Ing.habil., Prof. (Thermodynamik und Kältetechnik, Universität Hannover), Deichstraße 23, 30823 Garbsen
- Mitschke, Manfred (5.5.1929), Dr.-Ing., Prof. (Fahrzeugtechnik, TU Braunschweig), Buchfinkweg 1, 38112 Braunschweig
- Möller, Dietrich (18.12.1927), Dr.-Ing., Prof.em. (Vermessungskunde, TU Braunschweig), Steinkamp 6, 38165 Lehre
- Mühlbauer, Alfred (9.11.1932), Dr.-Ing. Dr.h.c., Prof. (Elektrowärme, Universität Hannover), Westerfeldweg 44, 30900 Wedemark
- Musmann, Hans-Georg (14.8.1935), Dr.-Ing., Prof. (Nachrichtentechnik, Universität Hannover), Heckenrosenweg 24, 38259 Salzgitter
- Partenscky, Hans-Werner (3.4.1926), Dr.-Ing., Dr.phys., Dr.h.c., Prof. (Verkehrswasserbau und Küsteningenieurwesen, Universität Hannover), Wiehbergstraße 20, 30519 Hannover
- Peil, Udo (20.4.1944), Dr.-Ing., Prof. (Stahlbau, TU Braunschweig), Försterkamp 9, 38302 Wolfenbüttel

- Pelzer, Hans (20.1.1936), Dr.-Ing., Prof. (Vermessungskunde, Universität Hannover), An der Worth 26, 30966 Hemmingen
- Popp, Karl (14.8.1942), Dr.-Ing., Prof. (Mechanik, Universität Hannover), Sauerbruchweg 49, 31535 Neustadt/Rbge.
- Reimers, Ulrich (23.3.1952), Dr.-Ing., Prof. (Nachrichtentechnik, TU Braunschweig), Kollwitzstraße 28, 38159 Vechelde
- Rostásy, Ferdinand Stefan (4.5.1932), Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Prof. (Baustoffe und Stahlbetonbau, TU Braunschweig), Nietzschestraße 26, 38126 Braunschweig
- Rothert, Heinrich (5.12.1938), Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Prof. (Statik, Universität Hannover), Feldbrunnenstraße 15, 20148 Hamburg
- Scheer, Joachim (5.3.1927), Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Prof.em. (Stahlbau, TU Braunschweig), Wartheweg 20, 30559 Hannover
- Schnieder, Eckehard (7.2.1949), Dr.-Ing., Prof. (Regelungs- und Automatisierungstechnik, TU Braunschweig), Friedrich-Knoll-Straße 3, 38104 Braunschweig
- Schönfelder, Helmut (3.4.1926), Dr.-Ing., Prof.em. (Nachrichtentechnik, TU Braunschweig), Fürstenhofweg 1 A, 38667 Bad Harzburg
- Schulitz, Helmut C. (17.7.1936), Dipl.-Ing., M.Arch., Arch.BDA, Hon.FAIA, Prof. (Architektur, TU Braunschweig), Am Dahlumer Holze 27, 38126 Braunschweig
- Schwedes, Jörg (26.2.1938), Dr.-Ing., Prof. (Verfahrenstechnik, TU Braunschweig), Fasanenstraße 17, 38102 Braunschweig
- Schwerdtfeger, Klaus (16.9.1934), Dr.-Ing., Prof. (Allgemeine Metallurgie, TU Clausthal), Zeppelinstraße 28, 38640 Goslar
- Stein, Erwin (5.7.1931), Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Dr.h.c.mult., Prof.em. (Baumechanik, Universität Hannover), Am Ortfelde 124, 30916 Isernhagen
- Thoma, Manfred (24.2.1929), Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Dr.h.c., Prof. (Regelungstechnik, Universität Hannover), Westermannweg 7, 30419 Hannover
- Tönshoff, Hans Kurt (14.5.1934), Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Prof. (Fertigungstechnik und Spanende Werkzeugmaschinen, Universität Hannover), Bruchholzwiesen 10, 30938 Burgwedel
- Unger, Hans-Georg (14.9.1926), Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h.mult., Dr.rer.nat.h.c., Prof.em. (Hochfrequenztechnik, TU Braunschweig), Wöhlerstraße 10, 38116 Braunschweig
- Weh, Herbert (1.3.1928), Dr.-Ing., Dr.sc.techn.h.c., Prof. (Starkstromtechnik, TU Braunschweig), Wöhlerstraße 20, 38116 Braunschweig
- Wiendahl, Hans-Peter (11.2.1938), Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Prof. (Arbeitsmaschinen und Fabrikanlagen, Universität Hannover), Am Winkelberge 6, 30826 Garbsen
- Wriggers, Peter (3.2.1951), Dr.-Ing., Prof. (Baumechanik und Numerische Mechanik, Universität Hannover), Bödekerstraße 8, 30161 Hannover
- Zabeltitz, Christian von (7.8.1932), Dr.-Ing., Prof. (Technik in Gartenbau und Landwirtschaft, Universität Hannover), Hellwiesen 3, 30900 Wedemark

Zenner, Harald (8.7.1938), Dr.-Ing., Prof. (Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit, TU Clausthal), Narzissenhang 1, 01328 Dresden

Zielke, Werner (8.12.1937), Dr.-Ing., Prof. (Strömungsmechanik, Universität Hannover), Lönsweg 31, 30826 Garbsen

Korrespondierende Mitglieder:

Baehr, Hans-Dieter, Dr.-Ing., Dr.E.h., Prof. (Thermodynamik, Universität Hannover), Dürerstraße 9, 44795 Bochum

Bjerhammer, Arne, tekn.dr., Prof. (Geodäsie, Kungl. Tekniska Högskolan Stockholm) Schweden

Funke, Paul, Dr.-Ing., Prof. (Werkstoffumformung, TU Clausthal), Arnikaweg 12, 38678 Clausthal-Zellerfeld

Garbrecht, Günther, Dr.-Ing., Dr.sc.h.c., Prof.em. (Wasserbau, Wasserwirtschaft und Kulturtechnik, TU Braunschweig), Drosselweg 15, 38179 Schwülper

Gersten, Klaus, Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Prof. (Thermo- und Fluidodynamik, Universität Bochum), Hofleite 15, 44795 Bochum

Gilles, Ernst Dieter, Dr.-Ing. Dr.h.c.mult., Direktor (Mess- und Regelungstechnik, MPI Dynamik komplexer technischer Systeme, Magdeburg), Bauernwaldstraße 131, 70195 Stuttgart

Grigull, Ulrich, Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Prof.em. (Thermodynamik, TU München), Heinrich-Vogl-Straße 1, 81479 München

Hofmann, Wilhelm, Dr.-Ing., Prof.em. (Baukonstruktion und Entwerfen, Universität Hannover), Wohnstift Augustinum, App. 5513, Renteilichtung 8, 45134 Essen

Kärner, Hermann Christian, Dr.-Ing., Dr.h.c., Prof. (Hochspannungstechnik, TU Braunschweig), Ledererweg 7, 83684 Tegernsee

Kistenmacher, Hans, Dr.rer.pol., Prof. (Regional- und Landesplanung, Universität Kaiserslautern), Friedrich-Ebert-Straße 1, 67271 Neuleiningen

Krätzig, Wilfried B., Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Prof. (Statik und Dynamik/Bauingenieurwesen, Ruhr-Universität Bochum), Wagenfeldstraße 8 A, 58456 Witten

Kreuzer, Edwin, Dr.-Ing.habil., Prof. (Mechanik und Meerestechnik, TU Hamburg-Harburg), Ehestorfer Weg 150g, 21075 Hamburg

Mayinger, Franz, Dr.-Ing., Prof. (Verfahrenstechnik, TU München), Am Haselnußstrauch 18, 80935 München

Menn, Christian, Prof.em. Dr.-Ing. Dr.-Ing.E.h. (Konstruktiver Ingenieurbau, ETH Zürich), Plantaweg 21, 7000 Chur Schweiz

Moritz, Helmut, Dr.techn., Dr.-Ing.E.h., Prof. (Erdmessung und Physikalische Geodäsie, TU Graz), Maria-Troster-Straße 114, A-8043 Graz/Österreich

- Pierick, Klaus, Dr.-Ing., Prof. (Verkehr, Eisenbahnwesen und Verkehrssicherung, TU Braunschweig), Am Uhlenbusch 31, 38108 Braunschweig
- Ruge, Jürgen, Dr.-Ing., Prof.em. (Schweißtechnik und Werkstofftechnologie, TU Braunschweig), Waldstraße 16, 82110 Germering
- Schlitt, Herbert, Dr.phil.nat., Prof. (Regelungstechnik, Universität Erlangen-Nürnberg), Egerlandstraße 5, 91058 Erlangen
- Spengelin, Friedrich, Dipl.-Ing., Prof. (Städtebau, Universität Hannover), Habichtshorststraße 12, 30655 Hannover
- Steck, Elmar, Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Prof.em. (Mechanik, TU Braunschweig), Mauernstraße 12, 38312 Borsum/Borum
- Stracke, Ferdinand, Dipl.-Ing., Prof. (Städtebau und Regionalplanung, TU München), Karlstraße 43/II, 80333 München
- Torge, Wolfgang, Dr.-Ing., Prof. (Theoretische Geodäsie, Universität Hannover), Mönchekamp 4 A, 30457 Hannover
- Truckenbrodt, Erich, Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Prof.em. (Strömungsmechanik, TU München), Josef-Würth-Straße 12, 82031 Grünwald
- Weimann, Günter, Dr.-Ing., Prof.em. (Photogrammetrie und Kartographie, TU Braunschweig), Knupfertal 40, 89520 Heidenheim
- Zerna, Wolfgang, Dr.-Ing., Prof.em. (Konstruktiver Ingenieurbau, Universität Bochum), Am Wittenstein, 45527 Hattingen
- Zumpe, Günter, Dr.-Ing.habil., Dr.h.c., Prof. (Mechanik, TU Dresden), Goetheallee 32 A, 01309 Dresden

Klasse für Geisteswissenschaften

Vorsitzender: Prof. Dr.phil.habil. Hans-Joachim Behr (bis 31.12.2004)

Ordentliche Mitglieder:

- Alpers, Klaus (27.9.1935), Dr.phil., Prof. (Klassische Philologie, Universität Hamburg), Kolberger Straße 12, 21339 Lüneburg
- Behr, Hans-Joachim (18.1.1949), Dr.phil.habil., Prof. (Ältere deutsche Sprache und Literatur, TU Braunschweig), Steige 8, 38102 Braunschweig
- Boeder, Heribert (17.11.1928), Dr.phil., Prof. (Philosophie, Universität Osnabrück), Lönsweg 10, 49076 Osnabrück
- Cunz, Reiner (12.4.1958), Dr.phil., Nds. Landesnumismatiker, Wiss. Leiter des Nds. Münzkabinetts der Deutschen Bank (Numismatik, Landesmuseum Hannover), Meitnerstraße 4, 30627 Hannover
- Fritz, Wolfgang (12.7.1951), Dr.rer.pol.habil., Prof. (Betriebswirtschaftslehre, TU Braunschweig), Rebenstraße 89, 64646 Heppenheim

- Gahl, Klaus P. G. (14.6.1937), Dr.med., Prof. u. Chefarzt (Innere Medizin, Medizinische Klinik II am Städtischen Klinikum Braunschweig), Dürerstraße 10, 38106 Braunschweig
- Henne, Helmut (5.4.1936), Dr.phil., Prof. (Germanistische Linguistik, TU Braunschweig), Platanenstraße 27, 38302 Wolfenbüttel
- Hentze, Joachim (23.6.1940), Dr.rer.pol.habil. Dr.h.c., Prof. (Betriebswirtschaftslehre: Unternehmensführung, TU Braunschweig), Brachvogelweg 4, 30916 Isernhagen
- Kühne, LL.M., Gunther (25.8.1939), Dr.jur., Prof. (Berg- und Energierecht, TU Clausthal), Geheimrat-Ebert-Straße 1, 38640 Goslar
- Lohse, Eduard (19.2.1924), Dr.theol.D., Honorarprof. u. Landesbischof i. R. (, Ev.-luth. Landeskirche Hannover), Ernst-Curtius-Weg 7, 37075 Göttingen
- Märtl, Claudia (3.7.1954), Dr.phil.habil., Prof. (Mittelalterliche Geschichte, Universität München), Preysingstraße 29, 81667 München
- Meckseper, Cord (29.10.1934), Dr.-Ing.habil., Prof. (Bau- und Kunstgeschichte, Universität Hannover), Eisenacher Weg 4, 30179 Hannover
- Mohr, Hans Heinrich (1.6.1917), Dr.rer.pol. (Versicherungswissenschaften) , Am Bürgerpark 4 a, 38102 Braunschweig
- Müller, Gerhard (10.5.1929), Dr.theol., D.D., Honorarprof. u. Landesbischof i.R. (, Ev.-luth. Landeskirche Braunschweig), Sperlingstraße 59, 91056 Erlangen
- Oberbeck, Gerhard (5.10.1925), Dr.rer.nat., Prof.em. (Geographie und Wirtschaftsgeographie, Universität Hamburg), Ginsterweg 4, 25474 Ellerbek
- Peine, Franz-Joseph (18.8.1946), Dr.jur., Prof. (Öffentliches Recht, Universität Göttingen), Kurpromenade 71 b, 14089 Berlin
- Pollmann, Klaus Erich (12.9.1940), Dr.phil., Prof. u. Rektor (Neuere Geschichte und Zeitgeschichte, Universität Magdeburg), Glogaustraße 17, 38124 Braunschweig
- Raabe, Paul (21.2.1927), Dr.phil.habil., Dr.h.c.mult., apl. Prof. u. Dir. i.R. (Deutsche Literaturwissenschaft, Universität Göttingen, Herzog August Bibliothek Wolfenbüttel), Roseggerweg 45, 38304 Wolfenbüttel
- Rengeling, Hans-Werner (25.2.1938), Dr.jur., Prof. (Umweltrecht, Universität Osnabrück), Langeworth 143, 48159 Münster
- Rötting M.A., Hartmut (11.8.1932) , Honorarprof. (Denkmalpflege, Stadtarchäologie, TU Braunschweig), Lobmachersche Straße 18, 38312 Cramme
- Salje, Peter (8.2.1948), Dr.jur., Dr.rer.pol., Prof. (Rechtswissenschaften, Universität Hannover), Kollenrodtstraße 7, 30161 Hannover
- Scheier, Claus-Artur (8.9.1942), Dr.med., Dr.phil.habil., Prof. (Philosophie, TU Braunschweig), Jasperallee 77, 38102 Braunschweig
- Schindel, Ulrich (10.10.1935), Dr.phil.habil., Prof. (Klassische Philologie, Universität Göttingen), Albert-Schweitzer-Straße 3, 37075 Göttingen

- Schmidt-Glintzer, Helwig (24.6.1948), Dr.phil.habil., Prof. u. Dir. (Sinologie, Allgemeine Kulturwissenschaft, Universität Göttingen, Herzog August Bibliothek Wolfenbüttel), Lessingplatz 1, 38300 Wolfenbüttel
- Schwarz, Brigide (19.1.1940), Dr.phil., Prof. i.R. (Mittelalterliche Geschichte, Universität Hannover), Geibelstraße 2, 12205 Berlin
- Stauf, Renate (23.3.1949), Dr.phil.habil., Prof. (Neuere deutsche Literatur, TU Braunschweig), Kasernenstraße 23, 38102 Braunschweig
- Thieme, Hartmut (20.11.1947), Dr.rer.nat., Leiter d. Archäol. Schwerpunktuntersuchungen im Helmstedter Braunkohlenrevier (Ur- und Frühgeschichte, Nieders. Landesamt f. Denkmalpflege Hannover), Schaumburger Weg 9, 31542 Bad Nenndorf
- Thieme, Werner (13.10.1923), Dr.jur., Prof.em. (Verwaltungslehre, Universität Hamburg), Berggartenstraße 14, 29223 Celle
- Thies, Harmen (26.12.1941), Dr.phil., Prof. (Baugeschichte, TU Braunschweig), Rodeweg 3, 38162 Abbenrode
- Vollmer, Gerhard (17.11.1943), Dr.rer.nat. Dr.phil., Prof. (Philosophie, TU Braunschweig), Zaunkönigweg 5, 38026 Garbsen
- Warnke, Carsten-Peter (21.6.1947), Dr.phil., Prof. (Kunstgeschichte, Universität Göttingen), Schöne Aussicht 59, 34346 Hann. Münden
- Wilhelm, Herbert (8.6.1922), Dr.oec., Prof.em. (Volkswirtschaftslehre, TU Braunschweig), Hirschbergstraße 16, 38124 Braunschweig
- Zahlten, Johannes (25.1.1938), Dr.phil., Prof. (Kunstgeschichte, HBK Braunschweig), Olfermannstraße 11, 38102 Braunschweig

Korrespondierende Mitglieder:

- Borst, Arno, Dr.phil., Prof. (Mittelalterliche Geschichte, Universität Konstanz), Längerbohlstraße 42, 78467 Konstanz
- Brett, Michael, Ph.D., Reader in the History of North Africa (Arabisch u. Arabische Geschichte mit besonderer Berücksichtigung Nordafrikas, School of Oriental and African Studies, London), 142 Turney Road, West Dulwich, GB-London SE 21 7 JJ/Groß Britannien
- Burkert, Walter, Dr.phil., Prof. (Klassische Philologie, Universität Zürich), Wildsbergstraße 8, CH-8610 Uster/Schweiz
- Cohen-Mushlin, Aliza, Ph.D. Prof., Dir. (Jüdische Kunst, Center for Jewish Art, The Hebrew University of Jerusalem), 19 Efrata St., Jerusalem 93384/Israel
- Ehlers, Joachim, Dr.phil., Prof. (Mittelalterliche Geschichte, FU Berlin), Am Wieselbau 9, 14169 Berlin
- Elbern, Victor H., Dr.phil., Accademico dei Lincei, Honorarprof. (Kunstgeschichte, FU Berlin), Ilisensteinweg 42, 14129 Berlin

- Engel Holland, Eva Johanna, Dr.phil., Prof.em. (Germanistik und Romanistik, Wellesley College/USA und Forschungsauftrag DFG Herzog August Bibliothek Wolfenbüttel), Schloßplatz 10, 38304 Wolfenbüttel
- Esch, Arnold, Dr.phil., Prof. u. Dir. i.R. (Mittelalterliche Geschichte, Deutsches Historisches Institut in Rom), Via della Lungara, 18, I-00165 Roma/Italien
- Fleckenstein, Josef, Dr.phil., Prof.em. u. Dir. i.R. (Mittelalterliche Geschichte, MPI für Geschichte, Göttingen), Zur Akelei 37, 37077 Göttingen
- Garrigues, Marie-Odile, Dr.phil., Prof. (Philosophie und Theologie, Centre Nationale de la Recherche Scientifique Paris) , Frankreich
- Hopt, Klaus J., Dr.jur. Dr.phil. Dr.h.c.mult., Prof. u. Dir. (Ausländisches und Internationales Privatrecht, MPI für ausländisches und internationales Privatrecht, Hamburg), Isestraße 117, 20148 Hamburg
- Klibansky, Raymond, Dr.phil., Prof. (Philosophie, Wolfson College, Oxford University) , GB-Oxford OX2 6UD/Großbritannien
- Kloft, Hans, Dr.phil., Prof. (Alte Geschichte und Wirtschaftsgeschichte, Universität Bremen), Wernigeroder Straße 36, 28205 Bremen
- Lavrov, Sergej, Dr., Prof. (Ökonomische Geographie, Universität Sankt Petersburg) , GUS
- Narkiss, Bezalel, Dr.phil., Prof. u. Dir. (Dep. of Art History, Index of Jewish Art, The Hebrew University Jerusalem), Humanities Building, Mt. Scopus, 91042 Jerusalem/Israel
- Neumann, Günter, Dr.phil., Prof.em. (Sprachwissenschaften, Universität Würzburg), Thüringer Straße 20, 97078 Würzburg
- Oexle, Otto G., Dr.phil., Prof. u. Dir. (Geschichte, MPI für Geschichte, Göttingen), Planckstraße 15, 37073 Göttingen
- Peroni, Adriano, Dr.phil., Prof. (Kunstgeschichte, Universität Florenz), Via Lungo L' Affrico 164, I-50137 Florenz/Italien
- Poeschke, Joachim, Dr.phil., Prof. (Kunstgeschichte, Universität Münster), Rudolf-von-Langen-Straße 26, 48147 Münster
- Rambaldi, Enrico, Dr.phil., Prof. (Universität Mailand), Via Monte Bianco 36, I-20149 Mailand/Italien
- Rosen, Stanley, Dr.phil., Prof. (Philosophie, Pennsylvania State University) , USA
- Schneidmüller, Bernd, Dr.phil.habil., Prof. (Mittelalterliche Geschichte, Universität Bamberg), Reuthersberg 18, 96135 Stegaurach
- Schwerdtfeger, Gunther, Dr.jur., Prof. (Öffentliches Recht und Recht der sozialen Sicherung, Universität Hannover), Hülsebrinkstraße 23, 30974 Wennigsen (Deister)
- Seidensticker, Bernd, Dr.phil., Prof. (Klassische Philologie, Freie Universität Berlin), Terrassenstraße 17 a, 14129 Berlin

Szlezák, Thomas Alexander, Dr.phil., Prof. (Griechische Philosophie, Universität Tübingen), Neckarhalde 3, 72070 Tübingen

Tsujimura, Koichi, Dr.phil., Prof. (Philosophie, Universität Kyoto), Sakyoku, Kamitakano, Higashidacho 12, J-606 Kyoto/Japan

Ullmann, Ernst, Dr.phil.habil., Prof. (Kunstgeschichte, Universität Leipzig), Tschaikowskistraße 12, 04105 Leipzig

Voppel, Götz, Dr.rer.pol., Prof. (Wirtschafts- und Sozialgeographie, Universität Köln), Neckarstraße 58, 51149 Köln

Zeitler, Rudolf, Dr.phil., Prof.em. (Universität Uppsala), Regngatan 16, S-75431 Uppsala/Schweden